


22101416213

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Cours de Physique Biologique

ANNÉE 1896-1897

LEÇONS
DE
MÉCANIQUE ANIMALE

PAR

J. BERGONIÉ

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DE MÉDECINE,
MEMBRE CORRESPONDANT DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

LEÇONS STÉNOGRAPHIÉES ET PUBLIÉES AVEC LE CONCOURS
DE
MM. Ed. WINKLER & L. ROUMAILLAC
PRÉPARATEURS DU COURS

311223



INTRODUCTION

Il n'est aucune matière d'Enseignement Supérieur qui ait eu à subir des fluctuations aussi rapprochées et aussi considérables que l'Enseignement de la Physique et de la Chimie dans les Facultés de Médecine. Je n'ai pas à rappeler ici, comment ayant constitué longtemps avec l'Histoire Naturelle les matières du troisième examen de Doctorat, ces mêmes sciences ont ensuite été enseignées en première année, et comment l'ancien 3me de Doctorat est devenu pendant une douzaine d'années le 1er. Puis nouveau changement, pour entrer dans le récent régime d'études actuellement en vigueur, régime où les sciences Physico-Chimiques rapprochées de la Physiologie ont le plus souvent leur sanction dans le 1er de Doctorat 2ème partie. Tous ces changements marquent un progrès, certainement, bien que le progrès réside plutôt dans la nouvelle direction nettement médicale de l'Enseignement donné que dans la lettre même des règlements successivement édictés. Cette nouvelle direction de l'Enseignement des sciences Physico-Chimiques dans les Facultés de Médecine, bien

que le titre des chaires n'ait pas été modifié (et il n'a pas besoin de l'être), a forcé tous ceux qui en sont chargés à changer complètement le programme de leur Cours et à essayer de renouveler l'ancien matériel.

Ce renouvellement de l'ancien matériel de démonstration n'a pu se faire encore. Personne n'a l'air de songer en haut lieu qu'avec les télescopes de Newton de nos vitrines il est difficile de mesurer une amétropie et que quelques milli-ampèremètres bien étalonnés feraient mieux notre affaire que les magnifiques cylindres en laiton verni avec lesquels on démontrait jadis les phénomènes d'influence. Tant que cet ancien matériel ne sera pas remplacé, l'Enseignement restera forcément trop théorique et par cela même moins médical et moins utile.

Mais ce n'est pas seulement l'ancien matériel qui ne convient plus à l'Enseignement actuel de la Physique dans les Facultés de Médecine, les anciens livres doivent être également mis de côté, ainsi que les programmes, les notes, les sommaires de leçons que chacun avait autrefois, au moment de son entrée dans l'Enseignement laborieusement rassemblés, et tenait au courant depuis.

Je sais qu'il y a et va y avoir de nouveaux livres, d'ailleurs excellents, et d'autre part, nous pouvons rappeler sans fausse modestie ce qui a été fait à Bordeaux dans cette voie et déjà à une époque où l'Enseignement de la Physique était encore bien

timidement médical (1). Mais ces exceptions démontrent le fait, c'est que l'Enseignement de la Physique biologique dans les Facultés de Médecine est pour ainsi dire entièrement à établir sur de nouvelles bases. Pour cela, les efforts de tous ceux qui ont à l'enseigner sont nécessaires, on fera plus vite et mieux; peut-être même résultera-t-il de ces efforts communs une unité de l'Enseignement de la Physique Médicale en France, qui sans exclure l'originalité de chacun, permettra d'établir un programme du Cours aussi bien que des examens. C'est là un désidératum qui aurait les plus grands avantages; d'où résulterait entre autres choses, le relèvement du niveau de l'Examen de Doctorat où la Physique biologique est comprise parce qu'il permettrait aux candidats d'être bien fixés sur ce qui

---

(1) J. Bergonié.- Leçons sur la Chaleur et la Thermodynamique animales.- 1re Edition 1887 - 2me 1893

" . Leçons sur l'Electricité Médicale 1re édition 1892 - 2me 1894.-

C. Sigalas.- Optique médicale 1893

" Leçons de Physique appliquée à la Pharmacie.- Actions moléculaires 1893.

" id Electricité 1896

Denigès.- Cours de Chimie Médicale. Chimie organique 1893

leur sera demandé.

C'est dans le but de contribuer pour une ~~faible part à~~ l'élaboration de ce programme que ces Leçons de Mécanique Animale vont être publiées, ayant été sténographiées, elles n'ont d'autre prétention que d'être utiles aux studieux qui les ont suivies, et de montrer ~~comment depuis 1887~~ se fait à Bordeaux l'Enseignement de la Physique Médicale.

Profr Bergonié

Mai 97.-

1ère Leçon

LA MECANIQUE ANIMALE.- MACHINES ET MOTEURS.- LE MUSCLE SEUL MOTEUR BIOLOGIQUE.- SES QUALITES MECANIQUES.- TRAVAIL DU MUSCLE.- SES ELEMENTS.-

LA MECANIQUE ANIMALE.- Il n'est guère besoin de définir le sujet qui va être traité dans ces leçons, il suffit d'en énoncer le titre. Quant à l'importance de cette étude elle n'a pas besoin non plus d'être démontrée, car chez l'animal élevé en organisation, les manifestations par lesquelles la vie se traduit, l'aboutissant de toutes les transformations énergétiques dont il est le siège sont d'une part la production de chaleur, d'autre part la production de travail mécanique. Le but de la vie organique chez l'animal n'est donc pas autre que la production de ces deux formes de l'énergie. On peut dire aussi que ce sont là les deux derniers termes de cette série de transformations biologiques après lesquelles l'animal rend au monde extérieur la parcelle de l'énergie totale dont il a été un moment dépositaire et qui n'a fait que le traverser.

Au point de vue purement médical l'importance de cette étude est aussi ~~me semble-t-il~~ de premier ordre. Comment se rendre compte en effet des problèmes de la nutrition qui dominent aujourd'hui toute la pathologie et la thérapeutique générales, pro-

blèmes dont la plupart, hélas, restent à résoudre, si l'on ne peut évaluer au moins approximativement la somme d'énergie que cette nutrition rend, d'une part, disponible, et celle qui, d'autre part, est véritablement produite. Mais sans remonter à une utilité aussi haute, ne pensez-vous pas que bien des lésions mécaniques, bien des déformations, des structures vicieuses peuvent, précisément parce que l'homme est avant tout un moteur puissant, être étiologiquement expliquées et rationnellement traitées si l'on connaît bien exactement le mécanisme de ce moteur. J'espère vous démontrer dans ces leçons qu'il en est bien ainsi et que la mécanique animale, ce chapitre de Physique biologique d'un abord si sévère, avec son appareil de leviers, de parallélogrammes, de trajectoire etc, est aussi fertile que les autres en applications immédiates soit à la pathologie, soit à la thérapeutique.

MACHINES ET MOTEURS.- Quelle que soit la complexité d'un mécanisme que l'on considère, par exemple, l'installation complète d'une usine, ou les mouvements d'un animal, une première distinction peut être établie entre les organes de ce mécanisme complexe; les uns servent à la création de l'énergie mécanique, les autres à son transport et à son utilisation, il y a un MOTEUR et une TRANSMISSION. Le mot création n'est d'ailleurs pas pris ici dans son sens propre, et il est bien entendu que l'organe principal du mécanisme où apparaît l'énergie mécanique la tire lui-même, par transformation, d'une autre forme de l'énergie (chaleur, actions

moléculaires, chimiques, pesanteur, etc). On appelle cet organe du mécanisme, origine du mouvement, le MOTEUR; tandis que les autres organes qui servent à la transmission ou à l'utilisation de l'énergie mécanique sont des MACHINES proprement dites.

Les moteurs produisent donc l'énergie mécanique en la tirant par transformation d'une autre source d'énergie. Ainsi les moteurs à gaz, les moteurs à vapeur, les moteurs électriques, les moulins à eau ou à vent, etc.

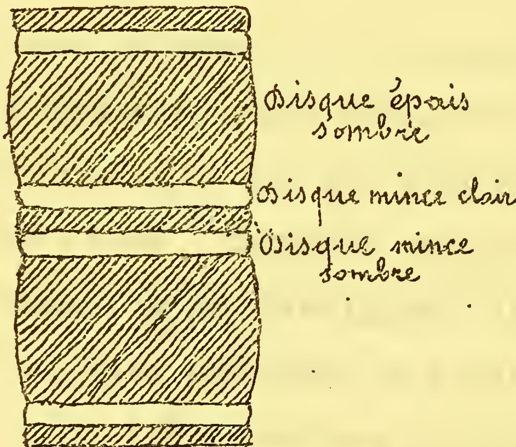
Les machines proprement dites au contraire, ne font que transmettre ou utiliser l'énergie mécanique qu'elles ont reçue d'un moteur. Aussi complexes qu'elles soient, elles ne produisent pas d'énergie mécanique. De plus elles peuvent se décomposer en machines simples dont les trois principales sont le levier, la poulie et le plan incliné.

Dans l'animal vivant qui est aussi un mécanisme complexe, il y a également lieu de distinguer entre le moteur et les appareils de transmission et d'utilisation mus par ce moteur, origine de toute l'énergie mécanique produite par l'animal. Nous ferons plus tard l'étude de ces appareils de transmission et d'utilisation qui ne sont autres que les diverses pièces du squelette avec leurs articulations, occupons-nous d'abord du moteur proprement dit.

LE MUSCLE SEUL MOTEUR BIOLOGIQUE.- Le seul organe vraiment moteur chez l'animal, c'est le muscle. Le muscle élémentaire, c'est à dire la fibrille musculaire devient moteur en utilisant une propriété commune à toute masse protoplasmique vivante, c'est

la propriété de changer de forme sous l'influence d'une excitation.
Mais cette propriété a été accentuée par une adaptation spéciale de la fibrille musculaire. Ainsi la fibrille musculaire au lieu de changer sa forme dans toutes les directions, comme l'amibe, ne la change que dans une seule, sa longueur, et il résulte de cette limitation du changement à une seule de ses dimensions un pouvoir de déplacement, un pouvoir moteur d'autant plus considérable.

Mais pour raisonner avec fruit sur les propriétés mécaniques du moteur biologique, le muscle, il est nécessaire de rappeler en quelques mots sa structure histologique, car les travaux de Ranvier ont établi, par l'expérience, entre cette structure histologique et ces propriétés mécaniques des relations étroites.



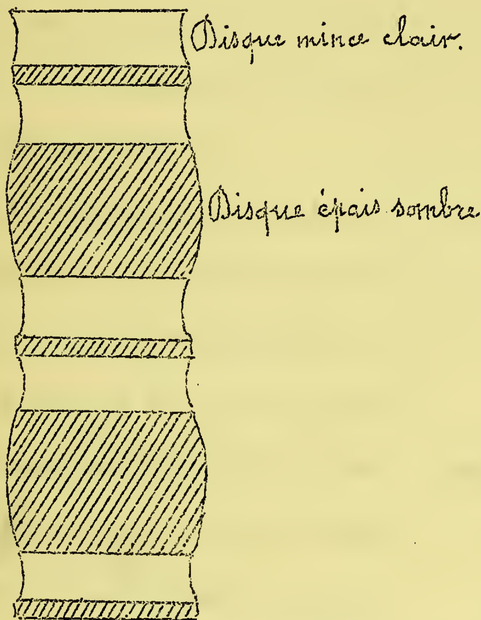
Fibrille musculaire relâchée non tendue
fig. 1

La fibrille musculaire peut être décomposée en éléments qui se succèdent suivant sa longueur toujours dans le même ordre (fig. I). Disque mince sombre, disque mince clair, disque épais sombre et ainsi de suite tout le long de la fibre. De ces trois disques, l'un, le disque mince sombre n'a d'après les histologistes qu'un rôle de soutien, les propriétés mécaniques de la fibrille musculaire sont dévolues aux seuls disques épais et au

disque clair et bien qu'à ces

deux éléments.

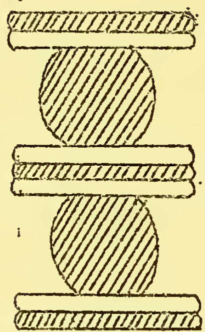
La première expérience de Ranvier a consisté à prendre une fibre musculaire au repos, non excitée, non contractée par conséquent, à la tendre, à l'étirer par ses deux extrémités et à la fixer à l'acide osmique. Dans cet état de distension, elle avait sous le microscope l'aspect représenté fig. 2.- On y voit, que des deux disques utiles mécaniquement, un seul, le disque clair, a subi une modification. Il s'est allongé sous la traction comme une substance élastique. Le disque épais et sombre n'a pas changé d'aspect. Cette première expérience démontre donc que la propriété d'être ELASTIQUE que possède la fibrille musculaire est localisée au DISQUE MINCE ET CLAIR à l'exclusion de tout autre de ses éléments.



Fibrille musculaire relâchée tendue
fig 2

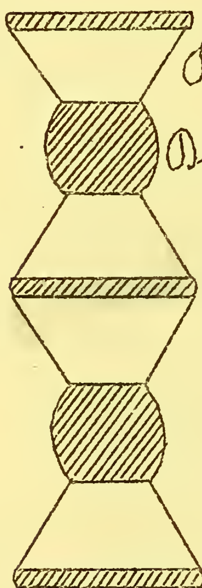
La seconde expérience de Ranvier a consisté à exciter une fibrille musculaire laissée libre de se contracter et à la fixer au moment où son raccourcissement était maximum. Au microscope cette fibrille présentait l'aspect fig 3. On y voit que seul, le disque épais et obscur a changé. Il s'est raccourci et est ~~devenu globuleux~~

les autres disques n'ont pas changé. On peut en déduire que la propriété d'être CONTRACTILE que possède la fibrille musculaire est localisée au disque épais et obscur à l'exclusion de tout autre de ses éléments.



Fibrille musculaire Contraction libre fig. 3.

La troisième expérience de Ranvier a consisté à exciter une fibrille musculaire tout en la distendant à ses deux extrémités et à la fixer à l'acide osmique ainsi contractée et tendue. Cette fibrille présentait l'aspect fig 4. On y voit que le disque clair s'est allongé, son élasticité ayant été mise en jeu par la distension exercée. Le disque obscur et épais est devenu globuleux et s'est raccourci, sa contractilité ayant été également mise en jeu par l'excitation.



Fibrille musculaire en contraction tendue fig 4

Ces schemas empruntés à Mathias Duval montrent donc que, d'après les travaux de Ranvier, dans la fibrille musculaire élastique et contractile l'élasticité est localisée dans le muscle

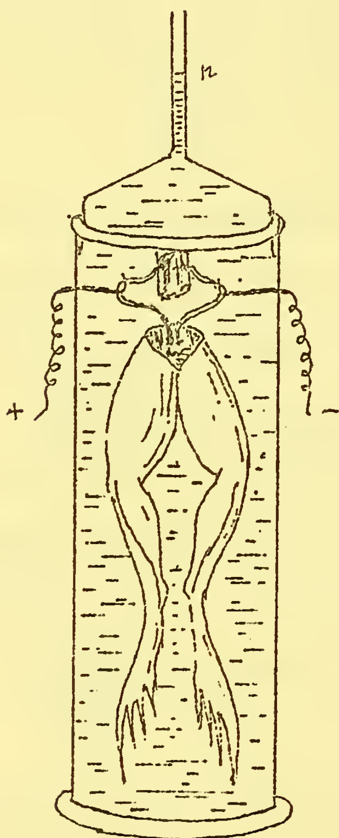
clair, la contractilité dans le muscle épais et sombre.

La contractilité de la fibrille est bien sa propriété essentielle, mais à côté de cette propriété, ces expériences histologiques et d'autres portant sur l'ensemble du muscle nous en montrent une seconde qui au point de vue mécanique a aussi son importance. Vous savez que dans tous les moteurs industriels on évite autant que possible les chocs, les à coups; les démarrages se font lentement et ce n'est que lentement que l'inertie des pièces à mouvoir est vaincue. La raison en est dans un meilleur rendement, une meilleure utilisation du travail du moteur et la nécessité d'éviter la rupture des organes mobiles de transmission. Or comment y arrive-t-on? la plupart du temps en interposant un corps élastique entre le moteur et l'organe mu, corps élastique qui absorbe les chocs et les variations de force vive et amortit les à coups. C'est ainsi que sont construits les embrayages d'arbre à arbre dans les usines, que sont employés pour les voitures les traits et colliers élastiques et pour les trains de chemin de fer les tampons à ressorts. La fibre musculaire est donc mécaniquement constituée pour un rendement élevé tout en devant exercer une action destructive très faible sur les organes qu'elle aura à mouvoir.

Maintenant comment le muscle produit-il du travail? Nous n'avons pas à envisager ici par quel processus chimiques l'énergie apparaît dans le muscle et passe de l'état potentiel à l'état actuel, qu'il nous suffise de constater que ces processus aboutissent AU RACCOURCISSEMENT du muscle. Ce raccourcissement a été nommé à

tort CONTRACTION. En effet un solide chauffé se contracte en se refroidissant, le mercure se contracte dans le tube thermométrique, l'eau et l'alcool mélangés subissent une contraction au moment du mélange et toute contraction dans le sens physique du mot implique une diminution de volume. Or l'expérience suivante (fig 5) due à Marey montre nettement qu'il n'y a pas contraction à proprement parler.

Fig. 5



Elle consiste à enfermer une masse musculaire constituée par tout un train postérieur de grenouille dans un gros thermomètre rempli d'eau et à exciter les nerfs moteurs. Les mouvements se produisent très énergiques et cependant on ne voit pas varier le niveau de l'eau dans le tube thermométrique. Il faut donc entendre par contraction musculaire un simple changement dans la forme du muscle, changement de forme dont nous ne retiendrons que le RACCOURCISSEMENT dans le sens de la longueur de la fibre musculaire.

TRAVAIL DU MUSCLE.- Le raccourcissement musculaire est l'un des éléments du travail du muscle. Vous savez en effet qu'on entend par travail en mécanique le produit de l'intensité d'une

force par le déplacement de son point d'application compté suivant la direction de la force. Dans le cas le plus simple où le mobile est un poids P à soulever suivant la verticale à une hauteur H , le travail T effectué pour ce soulèvement

$$T = P. H,$$

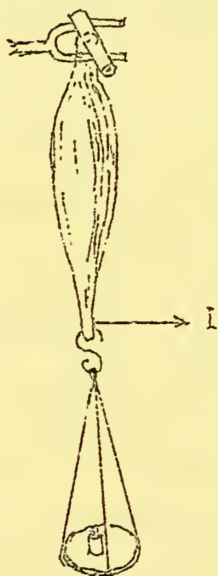
De ces deux éléments du travail, aucun ne peut être nul sans entraîner par cela même la nullité du travail mécanique produit. En un mot il ne peut y avoir travail mécanique qu'à condition qu'il y ait à la fois effort et déplacement produits. Ceci est toujours vrai quel que soit le moteur producteur de travail et, par conséquent, lorsque le moteur considéré est le muscle. Donc un muscle n'aura produit de travail MECANIQUE qu'après s'être raccourci et avoir vaincu une résistance.

Mais si le muscle ne travaille au point de vue mécanique que dans ces conditions, on ne peut dire qu'il est au repos lorsque après s'être contracté il soutient un poids sans le déplacer (contraction statique). Dans ce cas le travail mécanique est bien nul puisque l'un des facteurs, le déplacement est nul. Cependant le muscle ne peut être assimilé à un support matériel, à une colonne, par exemple, qui soutiendrait la voûte d'un édifice, ou bien à une chaîne portant une ancre suspendue, car il se passe en lui, pendant cette période de soutien, des échanges chimiques et l'on trouve, après, des déchets organiques qu'on chercherait en vain dans la colonne et dans la chaîne de l'ancre. Cette production de l'énergie dans le muscle, n'aboutissant pas à la production de travail mécanique, a

été introduite dans la Science par Chauveau qui lui a donné le nom de TRAVAIL PHYSIOLOGIQUE du muscle. Peut-être pourrait-on critiquer le mot travail appliqué à l'énergie libérée par la contraction statique du muscle, c'est à dire à une manifestation énergétique à laquelle il ne convient pas si l'on ne le détourne pas de son sens physique, mais la distinction établie par Chauveau n'en existe pas moins et le muscle contracté qui soutient un poids est le siège d'une production d'énergie qui n'est pas négligeable.

TRAVAIL MECANIQUE MAXIMUM DU MUSCLE.- Le travail mécanique effectué par un muscle est variable avec chacun des facteurs dont le produit sert à l'évaluation de ce travail. Mais pour un muscle donné, si l'on fait croître d'une manière continue l'un des facteurs, le poids soulevé, il arrive un moment où le travail effectué au lieu de croître comme le poids soulevé diminue au contraire, le second facteur du travail, la hauteur du soulèvement étant devenu très petit.

Fig. 6

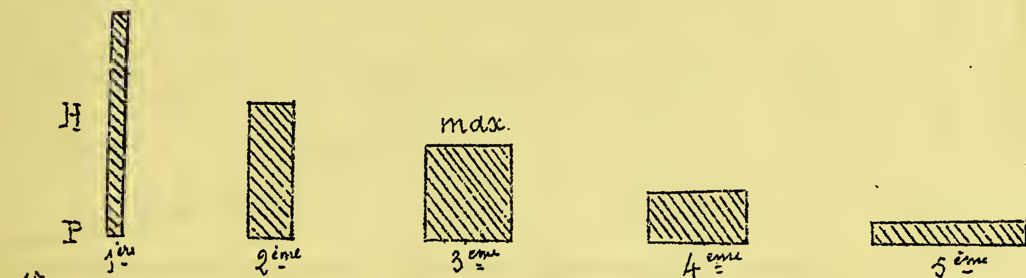


Muscle placé dans un faisceau divergent
En I Index se déplaçant sur l'échelle de l'écran.

Nous avons disposé ici (fig. 6) sur le trajet de ce faisceau de lumière divergent un muscle gastrocnémien de grenouille détaché de ses insertions osseuses et fixé par une pince. Ce muscle

n'a que quelques centimètres de longueur si bien qu'il ne pourrait être aperçu de tous les points de cette salle; mais l'ombre portée par ce muscle sur l'écran présente des dimensions suffisantes et vous voyez tous facilement qu'à chaque raccourcissement provoqué en faisant agir sur le nerf moteur de ce muscle un courant d'induction, le muscle se raccourcit, l'index I se déplace devant l'échelle graduée de l'écran, en élevant le poids suspendu à son extrémité inférieure restée libre. Nous faisons croître progressivement le poids soulevé, la hauteur du soulèvement diminue et nous pouvons

Fig. 7



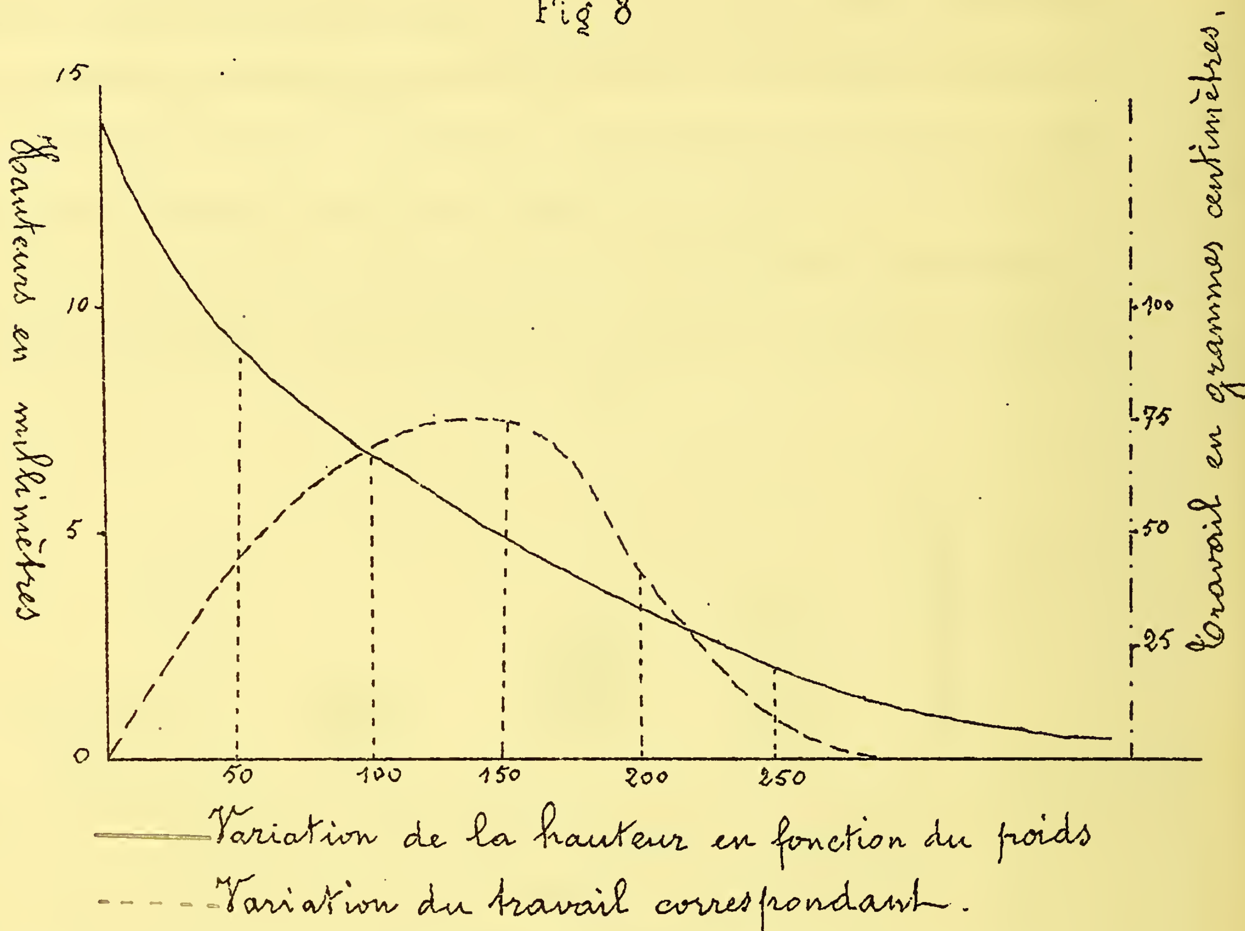
Variation du travail musculaire avec le poids soulevé.
H = la hauteur soulevée, représentée par la hauteur des rectangles
P = le poids soulevé, représenté par la base des rectangles
Le travail dans chaque cas est égal à la surface des rectangles.

représenter par les rectangles ci-dessus (fig. 7) le travail effectué par le muscle dans les cinq expériences successives faites devant vous. Le travail dans chaque cas est égal à la surface des rectangles. C'est dans la 3ème expérience que le travail du muscle a été maximum car le rectangle qui le représente a une surface maxima. Pour un muscle de grenouille, d'après Rosenthal, le travail est

maximum pour un poids de 150 grammes dont le soulèvement est de 5 millimètres. Le travail dans ce cas est de 150 X 0,5 = 75 grammes-centimètres, ou en système C.G.S, 75 X 980 =73500 ergs.

Nous avons traduit sur cette courbe (fig. 8), les résultats

Fig 8



d'une expérience de Rosenthal, résultats confirmés par Ch. Richet, sur les variations de la hauteur du soulèvement lorsque le poids soulevé augmente progressivement.

La courbe en pointillé indique le travail correspondant en grammes-centimètres $\frac{1}{100000}$ de kilogrammètre.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

2me Leçon

FORCE ABSOLUE ET FORCE SPECIFIQUE DU MUSCLE.- VARIATION DE H .- PREDOMINANCE DE L'UN DES FACTEURS.- INFLUENCE DE LA DIRECTION DES FIBRES.- MUSCLES A FIBRES COURBES.-

FORCE ABSOLUE DU MUSCLE.- Dans l'expérience 5 (fig. 7) que nous venons de faire devant vous, le muscle supportant un gros poids l'a soulevé d'une très-faible quantité et nous pouvons, en augmentant encore le poids suspendu, lui donner une telle valeur que le muscle bien qu'excité de la même manière ne se raccourcit plus du tout. Le poids fait alors équilibre à la force développée dans le muscle sous l'influence de l'excitation, on dit qu'il mesure la FORCE ABSOLUE du muscle. Cependant rien dans cet état d'équilibre ne mérite ce qualificatif d'absolu, tout au contraire est relatif; l'état du muscle, d'une expérience à l'autre, change à tel point, qu'aucune comparaison n'est possible. De plus on ne peut conclure de l'excitation électrique à l'excitation volontaire, aucun rapport entre leurs efficacités respectives n'étant connu.

FORCE SPECIFIQUE.- Si l'on pouvait connaître la force élémentaire absolue, e , d'une fibrille musculaire, c'est à dire le poids limite de son raccourcissement, sous l'influence d'une excitation volontaire maxima, en supposant que ce poids soit invariable au moins chez un même individu, on aurait pour la force absolue du

muscle considéré:

$$F = S\ e$$

si S est le nombre de fibrilles qui le composent.

Sa FORCE SPECIFIQUE, f; c'est à dire le rapport de sa force, F ,à sa section moyenne serait de même:

$$f = \frac{F}{s}$$

s étant cette section moyenne en centimètres carrés.

Les déterminations faites par Rosenthal, Koster, Marey, Plateau, Weber et d'autres, sur des muscles de grenouille, d'homme, d'oiseau et d'insecte, permettent de penser que cette force spécifique évaluée par l'excitation électrique croît rapidement de la grenouille à l'insecte. Pour l'homme on a donné le chiffre:f = 1087 Gr. pour une section de un centimètre carré.

Ce qu'il convient de retenir de ces considérations théoriques, c'est que comme il fallait s'y attendre a priori, toutes les autres circonstances variables restant les mêmes, et elles sont fort nombreuses, la valeur du POIDS maximum qu'un muscle peut soulever en se raccourcissant est PROPORTIONNELLE à la SECTION du muscle.

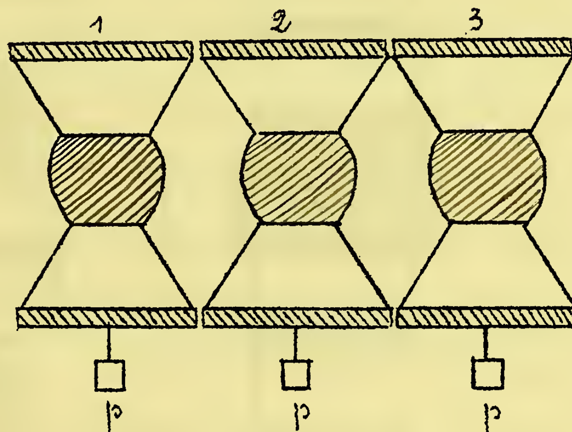
VARIATION DE H.- Le second facteur du travail du muscle est la valeur de son raccourcissement, ou bien, lorsque le travail consiste à soulever un poids, la hauteur, H ,à laquelle ce poids est soulevé.

Si l'on examine la hauteur à laquelle un certain poids est soulevé par différents muscles, toutes les autres circonstances

restant les mêmes, on constate que ce sont les muscles dont les fibres ont la plus grande longueur qui produisent les soulèvements les plus grands. Si bien que Weber a pu donner la loi suivante: Le RACCOURCISSEMENT possible d'un muscle est en raison directe de la LONGUEUR de ses fibres.

Bien que ces deux lois, l'une relative au poids soulevé, l'autre à la hauteur du soulèvement, soient des lois déduites de l'expérience, on aurait pu les prévoir, connaissant la constitution élémentaire de la fibrille musculaire, d'après les travaux de Ranvier. En effet, soit 1, 2, 3 (fig.9) fibrilles musculaires pla-

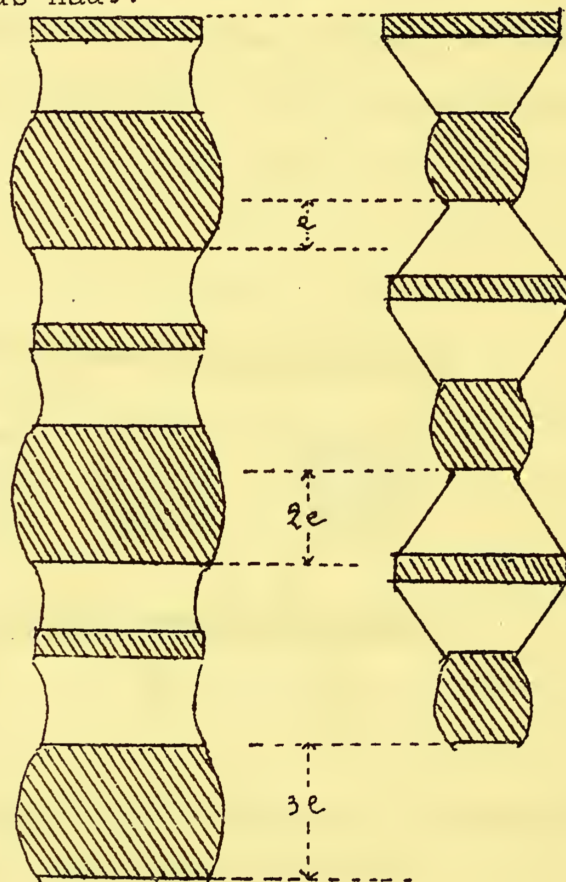
Fig. 9



Eléments musculaires accouplés en quantité; les poids soulevés s'ajoutent.

cées côte à côte et dont nous ne représenterons qu'un élément utile, c'est à dire un seul disque épais. Ces éléments musculaires étant fixés par leur extrémité supérieure, chacun d'eux pourra soulever

un poids, p ,par le raccourcissement ~~du disque contractile~~ qui les forme. Pour employer une expression d'une autre partie de la physique, mais qui s'adapte fort bien dans ce cas, les éléments musculaires seront accouplés en quantité ou en parallèle; le poids total soulevé sera égal à la somme des poids élémentaires et plus le nombre des fibrilles sera grand, c'est à dire plus la section du muscle considéré sera grande, plus le poids soulevé sera considérable, c'est la même loi que plus haut.



Éléments musculaires accouplés en tension, les raccourcissements s'ajoutent.

Considérons maintenant une fibrille musculaire comprenant 1, 2, 3 (fig.10) éléments contractiles.- Supposons-la fixée à

son extrémité supérieure et pouvant librement se raccourcir ç l'autre extrémité. Le raccourcissement dû au disque contractile 1 sera e .Celui dû au disque contractile 2 sera encore e ;mais, à son niveau, à cause du raccourcissement déjà produit par le disque 1 le raccourcissement total sera 2e ,et ainsi de suite jusqu'à l'extrémité de la fibre, dont le raccourcissement total sera proportionnel au nombre d'éléments contractiles et par conséquent à sa longueur.

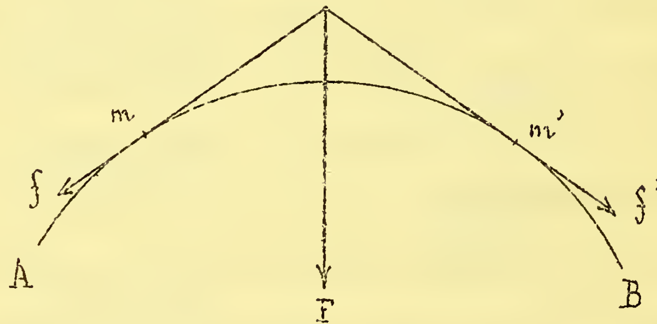
PREDOMINANCE DE L'UN DES FACTEURS DU TRAVAIL MUSCULAIRE SUR L'AUTRE.- D'après ces données, l'aspect d'un muscle révélera quel est celui des deux facteurs du travail qui prédomine: Est-il épais et court, l'effort développé sera considérable. Est-il long et grêle au contraire, le déplacement de son insertion mobile sera très grand. On pourrait citer de nombreux exemples où cette règle se trouve vérifiée. Les muscles masséter, jumeaux, fessiers, sont des muscles épais et courts, ils sont susceptibles d'un grand effort. Par contre le muscle sterno-cleido-mastoidien est long par rapport à sa section, le muscle grand droit de l'abdomen également; ils peuvent beaucoup se raccourcir. Enfin le muscle couturier, le plus long de l'économie doit suffire à deux raccourcissements lorsque l'homme se place dans la position professionnelle du tailleur (d'où le nom du muscle). Il doit d'abord fléchir la jambe sur la cuisse et ensuite fléchir la cuisse sur le bassin.

INFLUENCE DE LA DIRECTION DES FIBRES.- Tout ce qui vient d'être dit est vrai dans le cas où les fibres d'un muscle sont

parallèles au déplacement à produire. Mais il en est rarement ainsi. Par exemple pour les MUSCLES TRAPEZES, RHOMBOIDES, TRIANGULAIRES, PENNIFORMES, etc; dont les noms indiquent suffisamment les formes. Pour chacun de ces muscles la prédominance de l'un des facteurs de son travail sur l'autre dépend des conditions particulières dans lesquelles il est placé. La plupart du temps, le déplacement est moindre que si les fibres ayant même longueur étaient parallèles à la direction du déplacement.

MUSCLES A FIBRES COURBES.- Les muscles à fibres courbes sont nombreux dans l'économie, tels les sphincters, les orbiculaires, le diaphragme, l'utérus, le coeur. Ils méritent qu'on examine leur action avec quelque détail.

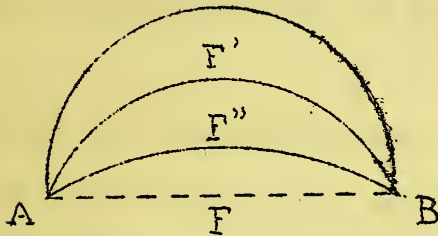
Fig. 11



Supposons une fibrille musculaire (fig. 11) courbe fixée en A B à ses deux extrémités; elle va tendre à se raccourcir et

deux disques contractiles m et m' vont par leur contraction déterminer deux forces f et f' dirigées suivant les tangentes à la fibrille aux points où ils sont situés. Ces deux forces peuvent être remplacées par leur résultante F ,bissectrice de l'angle des deux forces élémentaires et dirigée vers l'intérieur de la courbe.

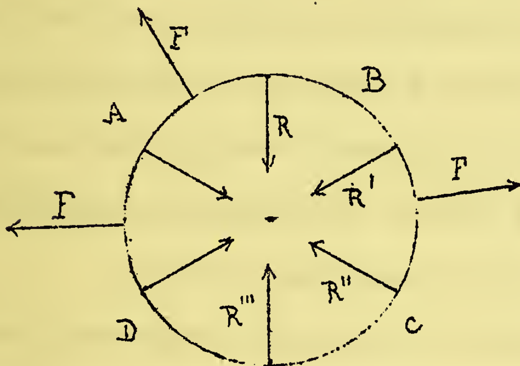
Fig. 12



Schema de l'action du muscle diaphragme.

Que résultera-t-il de ce mode général d'action des fibres musculaires courbes? Pour le muscle DIAPHRAGME, en forme de dôme (fig.12) il en résultera que par leur raccourcissement, les fibres musculaires tendront à effacer la convexité de la voûte diaphragmatique de manière que, si le raccourcissement était suffisant et si aucun obstacle ne s'y opposait, la voûte serait, en passant par les positions intermédiaires A F' B, A F'' B ramenée au plan A F B.

Fig. 13



Action d'un muscle à fibres circulaires (iris, sphincters, orbiculaires)

Pour les muscles SPHINTERS et ORBICULAIRES l'action est de même très facile à saisir. Supposons une fibre musculaire d'un sphincter A B C D (fig. 13). Toutes les résultantes R, R', R''

des composantes tangentielles dont nous avons parlé plus haut, seront dirigées vers le centre. Il en résultera, si rien ne s'y oppose, une diminution de la lumière de l'orifice qui pourra être suffisante pour que cette lumière soit réduite à 0 . Tel est le cas des sphincters, des orbiculaires, des fibres lisses de la tunique moyenne des artères, etc.

Mais nous pouvons juger de plus à l'aspect de la fig 13 comment devront être dirigées les fibres des antagnoistes des muscles en question. Nécessairement la direction de ces fibres devra être suivant F. F. et nous pouvons conclure que l'antagoniste d'un muscle à fibres CIRCULAIRES sera un muscle à fibres RADIEES.

Quelquefois ces fibres radiées ne sont pas continues et l'antagonisme est partiel, tel est le cas pour l'orbiculaire des lèvres (Imbert). Il en résulte des déformations de l'orifice fermé par cet orbiculaire très propres à modifier l'expression du visage

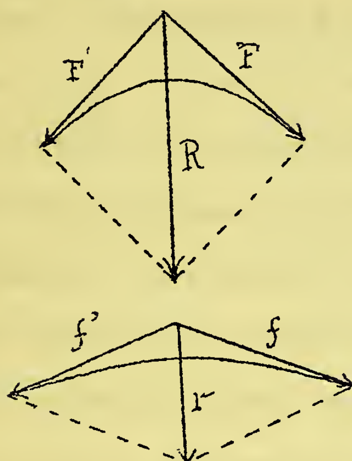
Mais parfois le muscle à fibres circulaires aussi bien que son antagoniste le muscle à fibres radiées réalisent absolument le schema de la fig. 13; tel est le cas pour l'iris.

Quant avx muscles creux tels que le coeur et l'utérus, ils peuvent être décomposés en segments auxquels s'appliquent presque sans restriction le principe mécanique de l'action des muscles circulaires.

EFFICACITE VARIABLE DU RACCOURCISSEMENT AVEC LE RAYON DE COURBURE.- Prenons deux fibrilles musculaires circulaires composées d'un même nombre de disques contractiles, mais différant l'une de

l'autre par leur rayon de courbure. Soient M et M' (fig. 14) ces deux fibrilles. D'après ce qui a été exposé plus haut (fig.11) les deux forces composantes F et F' vont avoir pour résultante la force R déterminée en grandeur et en direction par la construction du parallélogramme des forces. Faisons la même construction pour M' ;nous aurons également une résultante r , mais dont la grandeur, c'est à dire l'intensité, sera beaucoup moindre. L'efficacité du raccourcissement de la fibre sera donc très-différente dans les deux cas; l'on peut dire que cette EFFICACITE sera d'autant plus grande que le RAYON de courbure sera plus PETIT.

Fig. 14



Influence du rayon de courbure de la fibre sur l'efficacité de son raccourcissement.

Ces considérations permettent de donner une raison mécanique à certains phénomènes pathologiques atteignant les muscles creux. Si pour une raison quelconque le coeur, par exemple, se laisse distendre, l'efficacité du raccourcissement de ses fibres ou de sa contraction tendra à diminuer à mesure que la dilatation augmentera. Donc à toutes les autres causes, presque toutes mécaniques, de la dilatation excentrique du coeur s'ajoutera celle-ci, diminution de l'efficacité de la contraction par le fait même de la distension produite.

Il en est de même dans la distension de l'utérus au moment de l'accouchement, soit par un excès de liquide amniotique, soit par le fait de grossesse gémellaire. Les accoucheurs constatent dans ces cas une inefficacité de contractions utérines, inefficacité qui doit être attribuée en partie à la raison mécanique exposée plus haut.

Il en est encore de même certainement dans la dilatation de l'estomac qui ne va pas sans une diminution quelquefois considérable de sa motricité. En plus de toutes les autres causes de cette diminution d'énergie motrice, la même cause mécanique intervient.

Enfin dans la rétention d'urine par la distension vésicale, la même cause doit être mise en ligne de compte.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

3me Leçon

ETUDE DE LA MACHINE ANIMALE

NECESSITE D'UN SQUELETTE.- CARACTERES DISTINCTIFS DE LA MACHINE ANIMALE - ETUDE DES PIECES DE LA MACHINE.- STRUCTURE MECANIQUE DES OS.- AVANTAGES DES CYLINDRES CREUX.- RESISTANCE DES OS A LA COMPRESSION.- A LA FLEXION - A LA TORSION - ARCHITECTURE DES EPIPHYSES.-

NECESSITE D'UN SQUELETTE.- Après l'étude du moteur c'est-à-dire de l'organe, seule source de l'énergie mécanique chez l'animal, doit venir l'étude de la machine proprement dite qui sert à transmettre ou à utiliser cette énergie mécanique. Ce n'est que dans de rares circonstances que le travail du muscle est utilisé directement et sans transformation. C'est qu'en effet ce travail ne pourrait jamais être considérable, de plus pour produire des déplacements, même avec des muscles très-longs, ces déplacements seraient petits (1/3 de la longueur du muscle au maximum) et pour produire des effets notables de force, de pression, d'arrachement, il faudrait des muscles d'une très grande épaisseur. Aussi ne trouve-t-on l'utilisation directe du travail musculaire que chez les êtres inférieurs; chez ceux qui peu élevés au point de vue de leur organisation morphologique, le sont tout aussi peu au point de vue biologique. Ces

êtres sont de mauvais producteurs de travail mécanique, comme ils sont d'ailleurs de mauvais producteurs de chaleur; leur puissance biologique est faible. Tels les Vers, les Zoophytes, etc.

Il en est autrement chez les êtres qui possèdent en même temps que des muscles, un appareil de transmission et d'utilisation du travail musculaire, c'est-à-dire un squelette. Que ce squelette soit osseux ou chitineux d'ailleurs, peu importe, et l'on pourrait, au point de vue mécanique, rapprocher les Insectes des Vertébrés, en faire une classe unique de bons producteurs de travail.

Le squelette est donc nécessaire pour transmettre et utiliser le travail du muscle dans de bonnes conditions, pour obtenir des effets de mouvement de grande amplitude et des effets de force d'une grande intensité. S'il existe encore, chez les vertébrés supérieurs, des muscles n'ayant pas d'insertion osseuse, ces muscles ne sont qu'une exception; ils sont affectés à des actes tout à fait secondaires, et le travail mécanique qu'ils produisent est négligeable. Tels les peauciers.

Mais bien que le squelette serve surtout à la transmission et à l'utilisation du travail musculaire, on ne peut pourtant pas dire que le squelette entier n'ait que cette fonction. Parmi toutes les pièces du squelette il en est qui ne sont, à vrai dire, que des organes de machine, bielles, leviers etc. Mais d'autres, tout aussi résistantes ne servent que tout à fait secondairement de pièces mobiles, tels sont les os du crâne. Leur fonction est surtout de protéger les centres nerveux. Il y a donc un squelette de protection

et un squelette mecanique, le premier constitué par les os du crâne, le second par les os longs des membres, les ceintures scapulo-claviculaires et pelviennes et la colonne vertébrale qui les réunit. La cage thoracique sert à la fois comme organe protecteur et organe mécanique, et par le fait de cette adaptation insuffisante, elle protège mal les organes qu'elle contient et n'est douée que de mouvements peu étendus et sans force.

CARACTERISTIQUE DE LA MACHINE ANIMALE.- Examinons donc le squelette mécanique de l'homme constitué, comme nous venons de le voir par les os des membres, les ceintures scapulo-claviculaires et pelviennes, et la colonne vertébrale. Ce qui frappe tout d'abord c'est que dans cet ensemble de pièces de transmission et d'utilisation du travail mécanique, on ne remarque aucune glissière, aucune came, aucune poulie fixe, aucun pas de vis étendu, tous organes mécaniques qui servent à guider, à limiter ou à reproduire toujours semblable à lui-même le mouvement des pièces mobiles dans les machines. Ici plus de trajectoire fixe qu'une bielle mobile soit nécessairement obligée de parcourir, plus de mouvement circulaire décrivant un cercle inévitablement parfait, plus de came taillée pour une oscillation plus ou moins complexe, mais invariable, partout au contraire des pièces ayant des points de butée très limités et des axes peu fixes. Ce qui fait précisément la caractéristique de la machine animale, c'est que les mouvements qu'elle est capable de produire sont très-étendus, très variés, presque tous différents. L'adaptation exacte de pièces mobiles à tel ou tel mouvement exclusif n'existe

pas.

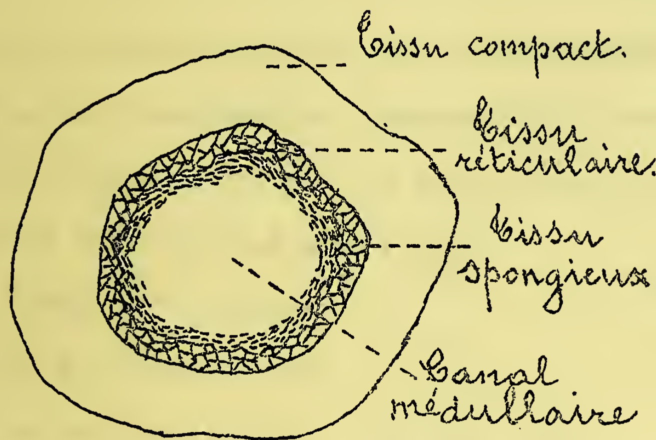
Il résulte de cette constatation qu'en même temps qu'une grande simplicité d'organes, nous trouverons dans la machine animale une grande complexité de mouvements. C'est en effet ce qui rend la construction des automates si difficile et si merveilleuse à la fois; difficile, car les mouvements reproduits n'ont jamais la variété, le moelleux qu'ils ont chez le modèle; merveilleuse, parce que l'ingéniosité qu'il faut déployer dans leur construction mérite bien ce nom. Elle tend en effet à remplacer par un mécanisme complexe (rouages, cames, vis etc) mu par un moteur simple et souvent unique (ressort), une machine à moteur multiple et varié (muscles) et à mécanisme simple (os articulé)

ETUDE DES PIECES DE LA MACHINE.- Malgré cette simplicité d'organes à peu près tous semblables entre eux, l'on peut cependant distinguer dans la machine animale les machines simples, composantes que l'on retrouve dans toute machine complexe; c'est à dire des leviers, des poulies et des plans inclinés. Mais la machine simple de beaucoup la plus commune est le levier. Or le levier est constitué matériellement par une barre rigide assujettie à tourner autour d'un point fixe; étudions donc ces barres rigides qui constituent les leviers de la machine animale.

Ce sont les os longs qui forment surtout ces barres rigides. Leur structure au point de vue anatomique est importante à connaître car nous verrons qu'à chaque détail de cette structure se rattache une adaptation mécanique correspondante. Rappelons qu'ils

présentent deux extrémités ou épiphyses et une partie moyenne appelée corps ou diaphyse. Cette diaphyse, dont nous nous occuperons d'abord, a la forme d'un prisme irrégulier, triangulaire souvent, quelquefois sa forme est celle d'un demi-cylindre ou d'un cylindre presque circulaire. La coupe transversale d'une diaphyse perpendiculaire à l'axe de l'os permet d'y distinguer (fig.15) trois Zones, une de tissu compact, la seconde de tissu spongieux, la troisième de tissu reticulaire. Aucentre est un large espace, vide de tout tissu ayant une résistance mécanique, et appelé canal médullaire En résumé la diaphyse de l'os est analogue à un cylindre creux, un tube, dont l'épaisseur est quelquefois très-faible en proportion de son diamètre (os des oiseaux grands voiliers, échassiers.)

Fig. 15



Coupe transversale d'une diaphyse.

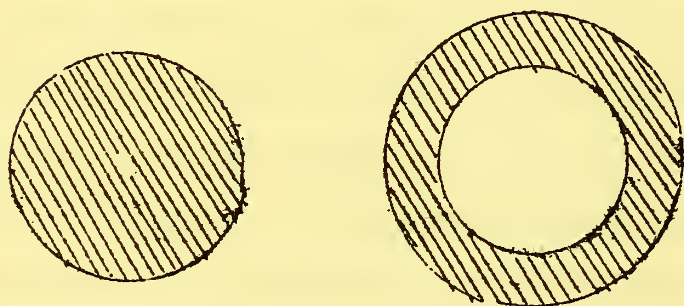
L'épiphyse continue généralement la forme de l'os, mais elle est beaucoup plus volumineuse et de plus sa section révèle une structure différente. La diaphyse se renfle au point où elle rejoint l'épiphyse de manière que le passage de l'une à l'autre se fait d'une manière insensible.

PROPRIETES MECANIQUES DES OS.- Les os longs étant assimilables dans certaines limites à des cylindres creux, il suffira de

connaître les propriétés mécaniques des cylindres creux pour en déduire celles des os. Or les principaux efforts mécaniques auxquels les os puissent être soumis sont: la compression, la flexion transversale, le cisaillement et la torsion. Quant à la traction, il est plus rare de voir un os soumis à une traction dangereuse, car les articulations ont bien plus vite atteint la limite compatible avec leur intégrité que les os qu'elles servent à unir (Arrachement traumatique des membres.

RESISTANCE A LA COMPRESSION.- Un solide prismatique comprimé résiste à la compression différemment suivant que toutes ses dimensions seront comparables entr'elles ou que sa longueur sera très-grande par rapport à ses deux autres dimensions. Ce dernier cas est le cas des os longs. Dans ce cas, lorsque les solides sont comprimés par des charges croissantes, ils résistent jusqu'à une charge limite dite charge de rupture. Cette charge de rupture est proportionnelle au diamètre du solide supposé cylindrique, et inversement proportionnelle au carré

Fig. 16



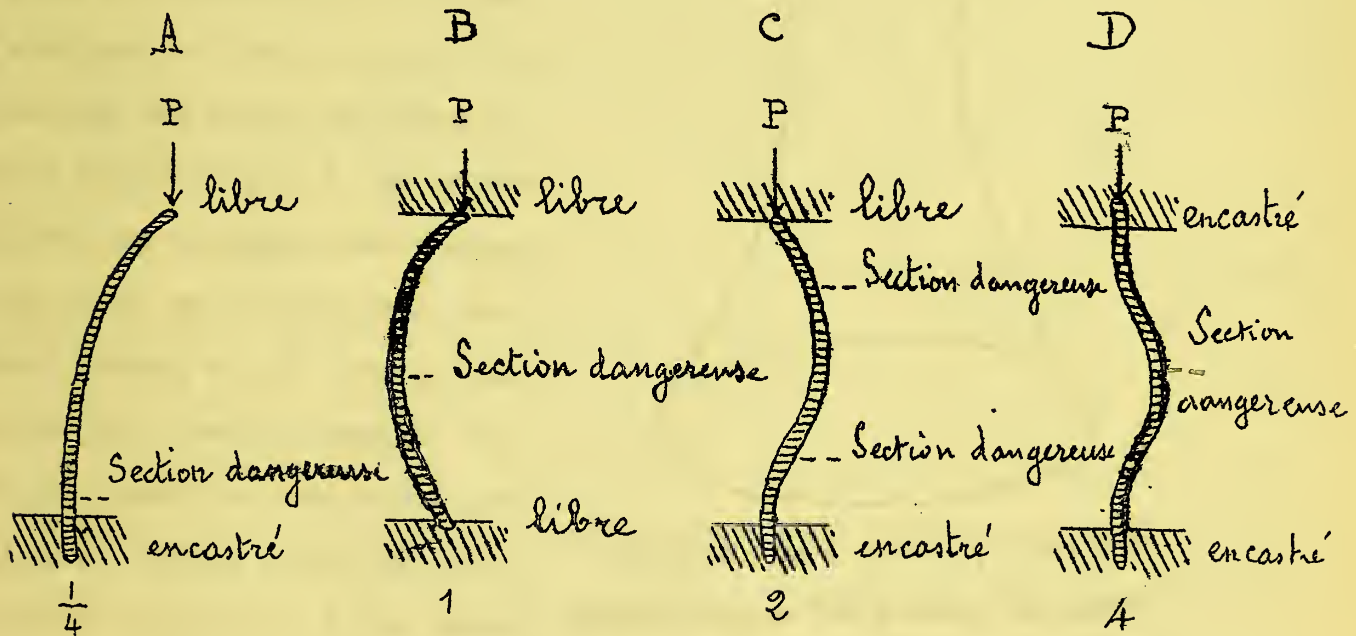
Deux os de même poids par unité de longeur, l'un plein, l'autre tubulaire.

de sa hauteur ou longueur.

Donc plus un os sera gros, toutes les autres circonstances restant les mêmes, moins il risquera de se rompre sous des efforts de compression. C'ext là un premier avantage de la structure tubulaire des os. Pour vous montrer la différence de diamètre, par conséquent la supériorité au point de vue mécanique d'un os de structure normale sur un autre os contenant le même poids de tissu osseux par unité de longueur, mais plein, nous avons dessiné ci-dessus (fig 16) les sections de ces deux os, trouvées par le calcul.

Lorsque la charge de rupture est dépassée, le solide soumis à la compression peut se rompre en des points différents suivant

Fig. 17

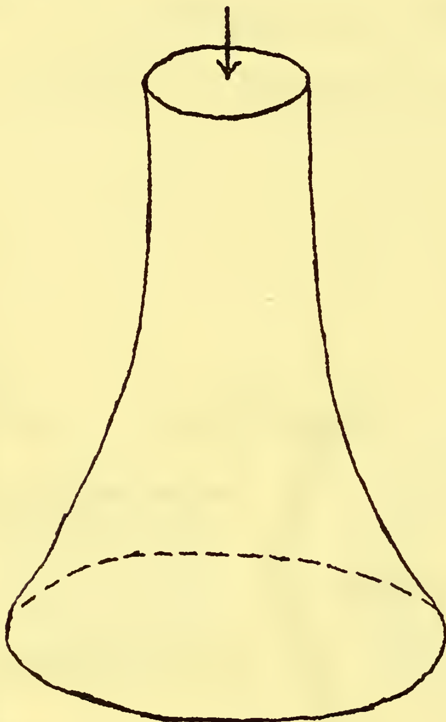


la manière dont ses extrémités sont disposées. La fig. 17 indique

les points où la rupture a lieu dans ces divers cas. On nomme ces points les <u>sections dangereuses</u> du solide comprimé.

On voit que ces sections dangereuses sont situées au milieu, au tiers ou aux deux tiers de la longueur du solide. Pour les os, il en est certainement de même et les fractures dites par les chirurgiens au tiers supérieur, au tiers moyen ou au tiers inférieur, sont bien nommées lorsqu'elles sont produites par une compression

Fig. 18



Forme optima d'un solide devant résister à une charge placée à la partie supérieure.

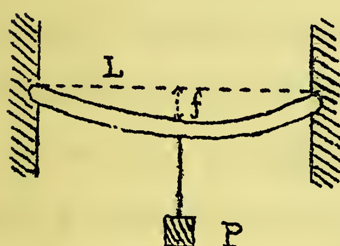
D'autre part les lois qui régissent la résistance des matériaux indiquent que dans le cas A ,la charge de rupture est un quart de celle qui est nécessaire en B ,et celle-ci deux et quatre fois moindre que celles qui sont nécessaires en C et en D . Ceci permet de se rendre compte des charges énormes que peuvent supporter les os lorsqu'on empêche leur extrémité libre d'osciller comme en A ,sous la charge. L'exemple d'une acrobate que vous avez pu voir (Miss Athleta),était démonstratif à ce point de vue. Elle pouvait porter deux chevaux

sur ses tibias et ses os de l'avant bras formant les quatre piliers d'une plateforme . Les efforts musculaires ne servaient qu'à maintenir la verticalité des os et à les fixer, c'est-à-dire à augmenter le plus possible leur résistance.

La forme des os longs est encore au point de vue mécanique à considérer. Il n'y a pour s'en rendre compte qu'à comparer l'un de ces os avec la forme du solide ci-joint, la meilleure pour résister à une charge placée à sa partie supérieure (Fig 18).

RESISTANCE A LA FLEXION TRANSVERSALE.- On démontre en mécanique que la charge P, (Fig 19) qui produit une certaine flèche de flexion f, sur une barre cylindrique de longueur L et de rayon r est proportionnelle à la quatrième puissance du rayon (r^4) et inversement proportionnelle au cube de la longueur (L^3):

Fig 19

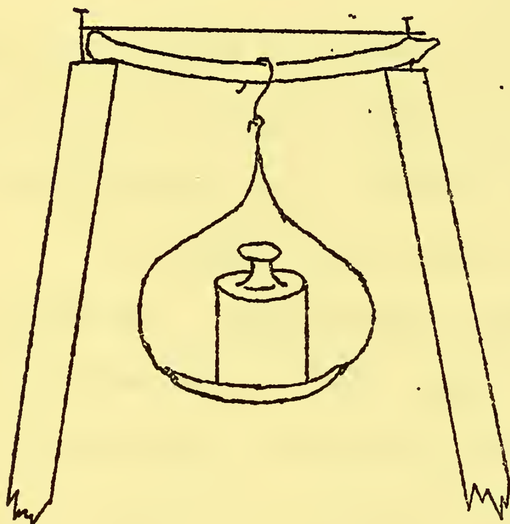


$$P = K \frac{r^4}{L^3}$$

L'on voit par cette formule, quelle est l'importance de l'augmentation du diamètre des solides soumis à la flexion. aussi l'emploi des tubes de grand diamètre et quelquefois de très petite épaisseur est-il aujourd'hui courant dans l'industrie lorsqu'il s'agit, sous un faible poids, de fabriquer des tiges fléchissant très peu sous de grandes charges. (Ponts tubulaires, cadres de bicyclettes, châssis de voitures,) Or les os longs sont précisèment constitués d'après ce principe, quelques-uns même, tels que ceux des oiseaux grands voiliers qui doivent résister a des efforts de flexion

sont quelquefois des tubes fort minces et fort légers. Chez l'homme cette adaptation quoique beaucoup moins marquée, permet cependant aux os de résister à des flexions transversales considérables.

Fig. 20



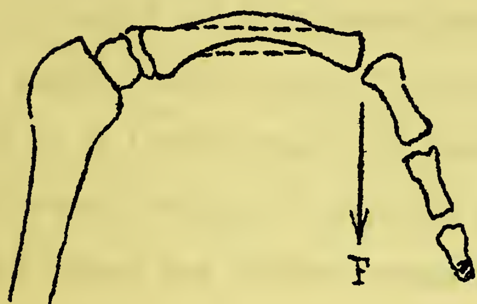
Péroné soumis à la flexion

Voici un péroné qui est l'os du squelette le plus long pour un diamètre très petit. Il est soumis à un effort de flexion considérable et vous pouvez voir par l'ombre de l'expérience portée sur l'écran, la hauteur de la flèche de flexion produite.

Quelquefois les efforts de flexion peuvent être produits sur les os par les muscles eux-mêmes auxquels ils servent de points d'insertion. Il se produit alors des déformations passagères des os qui sont fléchis alternativement en sens inverse, par exemple dans certains mouvements d'extension et de flexion. Mais quelquefois ce mouvement alternatif peut ne plus exister par le fait de la paralysie de tout un groupe, celui des extenseurs par exemple. Alors des flexions répétées se produisent toujours dans le même sens et l'os peut en conserver une déformation permanente. (Fig. 21) Tel est le cas dans la <u>tumeur dorsale du poignet</u> (Gubler) chez les saturnins ayant depuis quelques temps déjà de la pralysie des extenseurs. Cette tumeur me parait devoir être attribuée

à une déformation mécanique des os du métacarpe, par les flexions répétées auxquelles ils sont soumis par le fait de la contraction des fléchisseurs dont les antagonistes n'ont plus aucune action. Ce qui vient à l'appui de cette opinion, c'est que:

Fig. 21.



Mécanisme de la production de la tumeur dorsale du poignet
F. direction de la force qui produit la flexion.

1° quelle que soit la cause de la paralysie des extenseurs, même en dehors du saturnisme, on peut retrouver la déformation en question; 2° cette déformation disparaît quelque temps après la disparition de la paralysie des extenseurs.

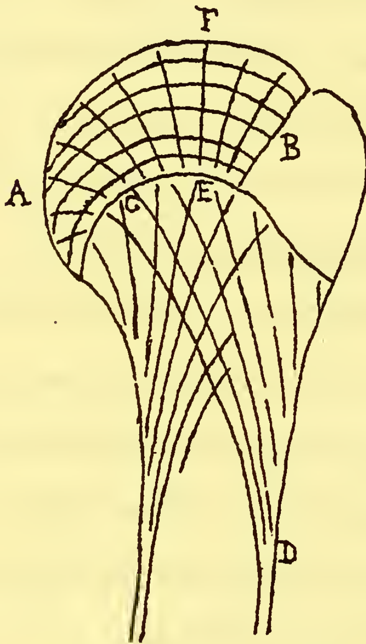
RESISTANCE DES OS AU CISAILLEMENT ET A LA TORSION.- La résistance des os au cisaillement et à la torsion est bien moins importante à considérer bien que la forme de certaines fractures indique qu'il y a eu des efforts de torsion produits en même temps que d'autres. Qu'il nous suffise d'indiquer que là encore la résistance à la torsion est proportionnelle au diamètre de l'os.

ARCHITECTURE DES EPIPHYSES.- Nous avons vu que les épiphyses des os par l'augmentation progressive de leur diamètre leur donnent la forme optima pour résister à une compression dans le sens de leur axe (Fig. 18). Mais là ne se borne pas leur rôle et les dispositions anatomiques qu'elles présentent sont en rapport avec les

efforts mécaniques qu'elles ont à supporter.

Tout d'abord l'étendue des surfaces articulaires est toujours considérable dans un plan perpendiculaire à la direction des pressions. Il en résulte une diminution d'autant plus grande de la pression par unité de surface au niveau de l'articulation et par conséquent des conditions de moindre fatigue et de meilleure nutrition. De plus cette pression relativement faible par unité de surface, empêche la synovie d'être chassée d'entre les cartilages articulaires dont elle favorise le glissement. On peut donc conclure que la cause de la si grande étendue relative des surfaces articulaires a pour cause le rôle mécanique de ces surfaces.

Fig. 22.



Coupe d'une tète humérale montrant les divers systèmes de travées osseuses

De plus, si l'on fait une coupe suivant l'axe de l'os, on trouve dans les dispositions des travées osseuses une adaptation encore plus marquée du rôle mécanique des épiphyses. Ordinairement en effet, (Fig; 22) on constate que ces travées affectent deux dispositions principales. Un premier système de travées suivant A B ,est parallèle à la surface articulaire et chacune des

travées a la forme d'une voûte plus ou moins surbaissée. Le deuxième système, forme comme les piliers de ces nombreuses voûtes. Ils vont s'appuyer soit sur le tissu compact de la diaphyse, C D ,soit sur une travée en voûte plus épaisse que les autres E F . Ce sont là d'excellentes dispositions mécaniques pour résister aux efforts de compression appliqués sur la tête articulaire.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

4me Leçon

MECANIQUE DES ARTICULATIONS.

Articulations mobiles et immobiles.- Amplitude du mouvement. Sa variation avec la grandeur des surfaces en contact.- Classi - fication géométrique des surfaces articulaires.- Articulations en sphère.- Rôle de la pression atmosphérique.- Articulations dérivées du cylindre.-

Après l'étude des os, tiges rigides constituant les leviers de l'organisme, nous devons étudier les points d'appui ou centres de rotation de ces leviers, c'est-à-dire les articulations.

Au point de vue mécanique on peut donc définir les articulations les centres de rotation des leviers formés par les os.

Dans cette étude des articulations, il convient tout d'abord de faire une distinction et de laisser de côté les articulations qui ne permettent aucun mouvement (synarthroses), ou qui ne permettent que des mouvements fort limités (amphiarthroses), aux os qu'elles unissent. Ces articulations, dites Immobiles par les anatomistes, sont constituées par des surfaces articulaires réunies entr'elles par du tissu cartilagineux ou fibreux qui s'opposent à leur libre mouvement. Nous ne nous occuperons donc ici que des articulations constituées par des os n'ayant entr'eux que des rapports

de contiguité ou de contact, et libres de toute union cartilagineuse ou conjonctive. Ce sont là les seules vraies articulations, les articulations mobiles; elles ont reçu le nom de diarthroses.

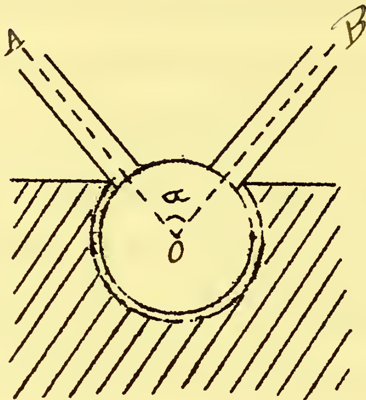
Cherchons dans la description anatomique de ces diartrhoses, les renseignements que nous pouvons utiliser au point de vue de leur étude mécanique. Une diarthrose est une articulation dans laquelle les surfaces épiphysaires encroûtées d'un cartilage dit cartilage articulaire, sont parfaitement polies et s'épousent exactement. Le frottement de ces surfaces articulaires est considérablement diminué par l'état lisse de ces dernières et par l'interposition d'un liquide onctueux et filant appelé la synovie, liquide constitué par de l'albumine, de la mucine, de la graisse, et une grande quantité d'eau. Cette synovie qui augmente l'adhésion entr'elles des surfaces articulaires, joue dans la machine humaine le même rôle que l'huile dans les rouages de nos moteurs industriels.

Lorsqu'une diarthrose fonctionne, il est absolument nécessaire que la contiguité des surfaces reste permanente et que le volume de l'articulation n'augmente pas. S'il y a écartement des surfaces ou augmentation de volume, l'articulation ne fonctionne plus normalement, et il peut y avoir luxation.

Lorsqu'une articulation se meut, on peut mesurer l'amplitude, ou comme on le dit, l'excursion du mouvement produit (Beaunis et Bouchard, Anatomie descriptive). Cette amplitude se mesure par la distance angulaire ou linéaire qui sépare les deux positions extrêmes que peut occuper l'os mobile. Prenons comme exemple

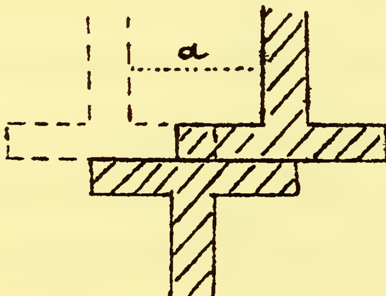
l'articulation coxo-fémorale (fig. 23): On peut la considérer comme constituée par deux sphères, dont l'une pleine, se déplace dans une autre creuse, plus ou moins complète. Soit O A O B les deux positions extrêmes occupées par l'axe du fémur, l'amplitude a du mouvement sera l'angle formé par ces deux positions extrêmes. Les centres des deux sphères sont confondus et le sommet de l'angle a est à ce centre commun. Si, au lieu d'être constituée par des surfaces de révolution, comme dans le cas precédent, l'articulation est constituée par deux plans glissant l'un sur l'autre (Fig. 24), l'excursion est mesurée par la distance linéaire a entre les deux positions extrêmes de l'axe de l'os mobile.

Fig. 23.



Amplitude du mouvement dans les articulations sphériques.

Fig. 24.

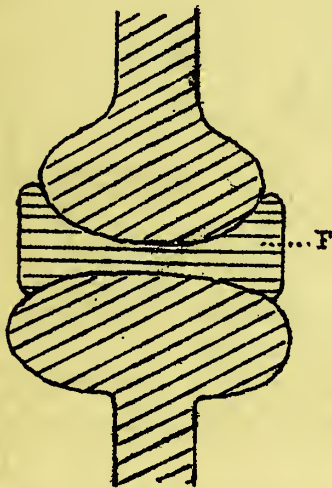


Amplitude du mouvement dans les articulations planes

Qu'une articulation soit plane [redacted] en surface de révolution, on doit toujours distinguer son amplitude théorique de son amplitude vraie. L'amplitude théorique atteint sa

limite dès que l'os mobile a rencontré certains points de l'os fixe, qui l'empêchent d'aller au-delà. Ainsi, le fémur vient buter dans ses deux positions extrêmes, contre le rebord de la cavité cotyloïde, c'est là l'amplitude théorique ou l'amplitude maxima possible du mouvement. L'amplitude vraie est toujours moindre que l'amplitude théorique, car les deux os, l'os fixe et l'os mobile, sont réunis par des ligaments et par des muscles qui s'opposent à ce que l'amplitude théorique puisse être atteinte. Les ligaments sont distendus, les muscles agissemt par leur élasticité propre, et leur tonicité; enfin, la présence des parties molles est un obstacle qui empêche l'os mobile d'atteindre la position extrême indiquée comme possible dans l'amplitude théorique. Toutes ces causes s'ajoutent donc pour assigner à l'amplitude vraie une valeur quelquefois très-inférieure à l'amplitude théorique.

Fig. 25.



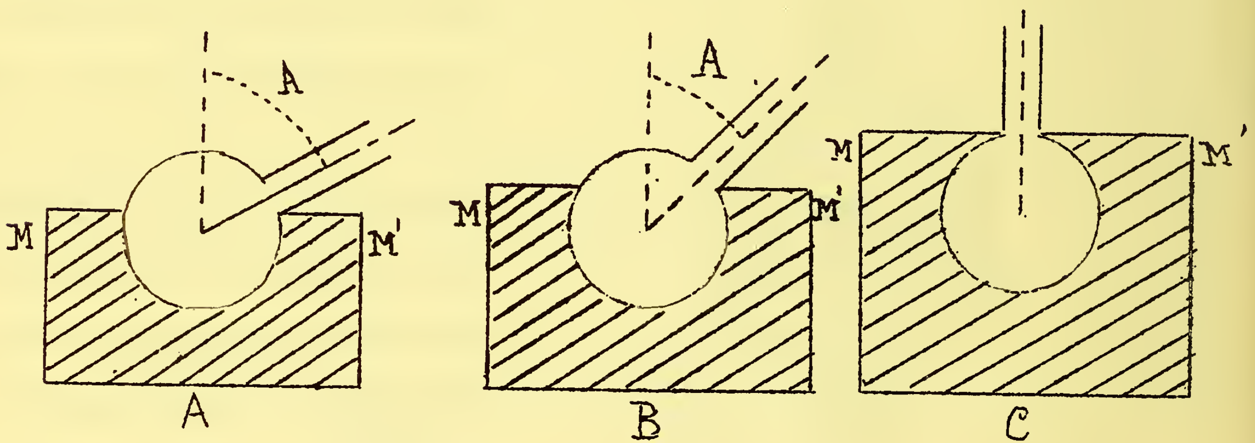
Schema d'une articulation avec fibro-cartilage inter-articulaire en F

Les surfaces articulaires étant dans le plus grand nombre des articulations exactement juxtaposées, il s'ensuit que, si l'une est plane, l'autre l'est aussi et que si l'une est concave, l'autre, par opposition, est convexe, et récoproquement. Cette règle absolument générale, semble cependant présenter quelques exceptions. Ainsi, dans certaines

articulations, les surfaces des deux os ne s'épousent pas exactement, mais on trouve alors interposé entr'elles un fibro-cartilage dit fibro-cartilage inter-articulaire, qui épouse la forme des os. Il est doublement concave (Fig. 25) si les surfaces articulaires de ces deux os sont toutes les deux convexes, d'où son nom de ménisque articulaire. On a là plutôt à faire à une articulation double (articulation temporo-maxillaire, du genou, etc.)

L'étendue des surfaces articulaires influe sur l'amplitude des mouvements que cette articulation permet; prenons par exemple une

Fig.26.



Diminution de l'amplitude avec l'augmentation de la surface articulaire de l'os.

articulation constituée par deux sphères, (Fig. 26) dont l'une est pleine et l'autre creuse; si l'on suppose que la surface de la sphère creuse augmente, c'est-à-dire que l'ouverture M M', qu'elle présente pour laisser passer l'os mobile, diminue de plus en plus, A, B, C,

il arrivera un moment où l'os mobile sera arrêté dans ses mouvements de latéralité et de circumduction et ne pourra plus avoir qu'un mouvement de rotation sur son axe (C) .Donc, l'amplitude diminue lorsque la surface articulaire fixe augmente, l'on pourrait également démontrer que cette amplitude augmente lorsque la surface articulaire mobile diminue; et l'on peut tirer de cette constatation la loi suivante:

$$A = K \frac{S_m}{S_f}$$

que l'on peut traduire en langage ordinaire de la façon suivante: l'amplitude A d'une articulation donnée est proportionnelle à l'étendue S_m de la surface articulaire de l'os mobile, et inversement proportionnelle à la surface S_f de l'os fixe; K est un coefficient numérique.

Cette loi est absolument générale et l'on peut donner de son application les exemples suivants: La cavité glénoide de l'omoplate n'a que le 1/4 en surface de la tête de l'humérus, elle permet par cela même des mouvements de très-grande amplitude. La cavité cotyloide a à peu près la moitié comme étendue, de la surface de la tête du fémur, aussi les mouvements de la cuisse sont-ils d'une amplitude bien moindre que ceux du bras.

<u>Classification des surfaces articulaires au point de vue mécanique</u>.- Les surfaces articulaires dérivent de surfaces géométriques très-simples et on peut les rapporter à trois surfaces géométriques principales:

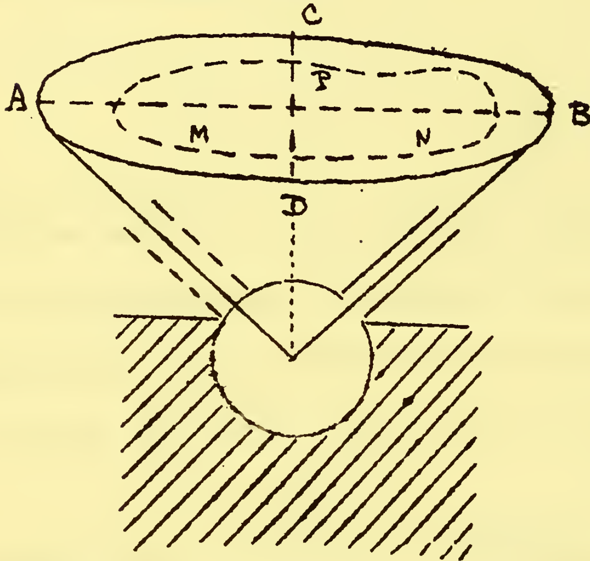
1°.- La sphère,

2°.- Le cylindre,

3°.- Le plan.

<u>Articulations se rapportant à la Sphère</u>.- Ces articulations, de beaucoup les plus parfaites, et dont les mouvements sont les plus variés, ont reçu en anatomie le nom d'énarthroses, les articulations scapulo-humérale et coxo-fémorale en offrent des exemples, leur amplitude est considérable, car les parties molles permettent à l'amplitude vraie de se rapprocher de l'amplitude théorique.

Fig. 27



Cône limite des mouvements possibles

CD flexion DC extension
AB adduction BA abduction

Si l'on prend l'une de ces articulations et que l'on cherche à déterminer le solide qui limite toutes les positions que peut occuper l'os mobile, on trouve qu'il suffit pour avoir ce solide, de décrire un cône (Fig. 27.) qui a pour sommet le centre de l'articulation ou de la sphère mobile et pour courbe directrice le bourrelet cartilagineux qui forme l'extrême bord de la sphère creuse. En réalité, cette limite est trop large, à cause du diamètre de l'os mobile qui ne peut

être réduit à son axe; cet os mobile pourra se mouvoir sans sortir du cône limite et prendre toutes les positions possibles , dès qu'il sortira de ce cône, il y aura luxation ou fracture.

Les mouvements possibles sont les suivants:

1°.- Tout d'abord,un premier mouvement consistera à faire parcourir à l'os l'un des diamètres ou l'une des cordes de la base du cône; ce mouvement sera pendulaire lorsque l'os ira de A en B et de B en A .

Pour deux diamètres parcourus convenablement choisis et perpendiculaires l'un à l'autre, les mouvements ont reçu le nom de flexion et d'extension, d'abduction et d'adduction.

Par exemple, si le parcours du diamètre C D est un mouvement de flexion, le parcours en sens inverse D C sera un mouvement d'extension. Le parcours de A vers B sera un mouvement d'adduction et le parcours de B vers A sera un mouvement d'abduction.

2°.- L'os mobile pourra décrire une courbe quelconque (cercle, ellipse, etc), à la condition que cette courbe soit contenue dans la base limite du cône, on aura alors un mouvement de circumduction MNP. Le plus étendu de ces mouvements serait obtenu si l'os parcourait le cercle A C B D, ce qui n'est pas possible, l'amplitude vraie étant toujours plus petite que l'amplitude théorique.

3°.- En combinant un mouvement de flexion et un mouvement de circumduction, on aura un mouvement composé.

4°.- L'os peut effectuer une rotation suivant son axe,

et cela sans déplacement latéral. Ce mouvement peu important, est cependant très-commun; ainsi, l'humérus tourne sur son axe dans les mouvements extrêmes de supination et de pronation de l'avant-bras.

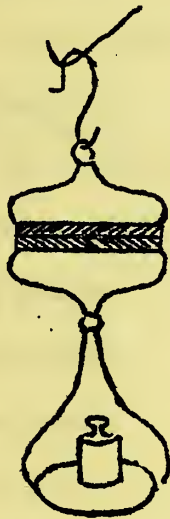
Comment les surfaces articulaires sont-elles maintenues en contiguité l'une avec l'autre? Nous savons l'action qu'exercent les ligaments, les muscles et les parties molles, mais à ces forces actives et passvies, on doit ajouter deux forces physiques, la pression atmosphérique et la force adhésive.

Rôle de la Pression Atmosphérique.- Les frères Weber ont démontré l'influence importante de la pression atmosphérique dans le maintien en contact des surfaces articulaires. Ils ont fait leurs expériences sur l'articulation coxofémorale: ayant placé un cadavre les jambes pendantes, et sectionné toutes les parties molles reliant le fémur à l'os coxal, muscle, ligament, capsule articulaire, ils ont constaté que la tête du fémur n'abandonnait pas la cavité cotyloide, malgré le poids total du membre qui l'y sollicitait. Si l'on supprimait l'influence de la pression atmosphérique, soit en laissant rentrer l'air par le fond de la cavité forée à cet effet, soit en plaçant l'articulation convenablement préparée, sous le récipient de la machine pneumatique, la tête du fémur abandonnait aussitôt sa cavité. Ces faits semblent démontrer que même sans le secours des parties molles la pression atmosphérique peut maintenir la tête fémorale dans sa cavité articulaire, et soulager pendant la marche de tout le poids du membre inférieur, l'action des muscles de la cuisse. Cependant une autre force doit être mise en ligne de

compte, c'est l'adhésion: d'après Bordier, elle seule serait en jeu.

Effet de l'adhésion.- Si l'on prend deux fragments d'un corps quelconque, dont les surfaces ont été polies, et si on les applique très-énergiquement l'un contre l'autre, la pesanteur est vaincue par l'attraction moléculaire, et les deux fragments restent en contact. L'expérience réussit très-bien avec des morceaux de plomb. On peut démontrer également le fait avec deux plans de verre dépoli (Fig. 28); mais, si entre ces deux plans de verre dépoli, avant de les appliquer l'un contre l'autre, on interpose un liquide épais tel que la glycérine, l'adhérence des deux plans de verre est beaucoup plus forte qu'auparavant. Or la synovie agit de la même façon, lorsque on applique l'une contre l'autre les deux surfaces articulaires de l'articulation coxofémorale, et l'on peut joindre l'attraction moléculaire à la pression atmosphérique comme causes du maintien en contact des deux surfaces articulaires.

Fig. 28.

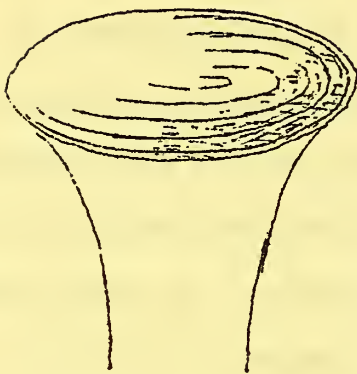


Adhésion de deux plans de verre

Articulations dérivées de la Sphère.- Les autres articulations dérivées de la sphère sont:

1°.- Le condyle, (Fig 29), qui a la forme d'une partie d'ellipsoide de révolution;

Fig. 29.-

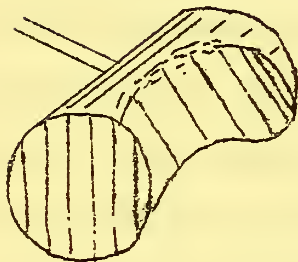


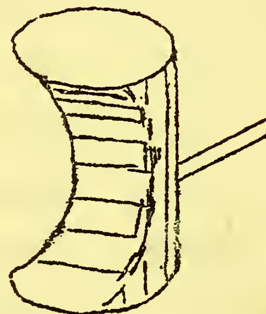
Condyle

2°.- L'articulation en selle, concave dans un sens, convexe de l'autre, qui peut être considérée comme dérivée d'un tor e surface engendrée par un cercle tournant à distance autour d'un point fixe (Fig 30).

<u>Articulations dérivées</u> du Cylindre.- Ce sont la trochlée, la trochoide, le ginglyme et la mortaise. Elles sont toutes constituées par deux cylindres dont l'un est plein et l'autre creux, ayant même axe et même rayon (Fig. 31). L'amplitude des mouvements est très-facile à mesurer, et les mouvemenrs eux-mêmes sont peu nombreux; les trochlées ne peuvent produire qué la flexion et l'extension, ou bien l'adduction et l'abduction; on constate quelquefois un mouvement de glissement,

Fig. 30

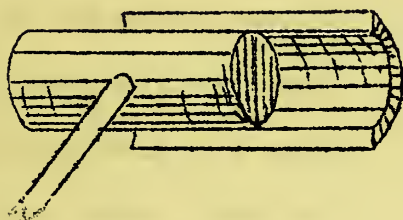




Articulation en selle

suivant l'axe des cylindres articulaires. La trochlée se différencie de la trochloide, en ce que le rayon du cylindre dans la trochlée est toujours le même, tandisque dans la trochloide, il peut varier; le mouvement de glissement dans la trochloide ne peut pas par conséquent, se produire.

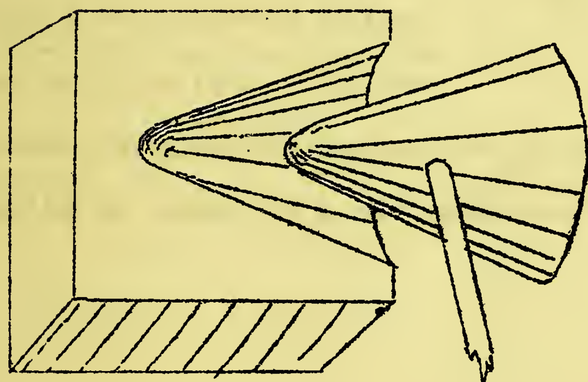
Fig. 31.-



Articulation en cylindre

Si dans l'articulation en trochlée, le rayon du cylindre varie légèrement et régulièrement, suivant l'axe, on a une surface cônique, (Fig. 32), dans ce cas, l'os mobile ne décrit pas un mouvement simple de flexion contenu dans un même plan, mais un mouvement de flexion ayant la forme d'une surface cônique.

Fig 32.-

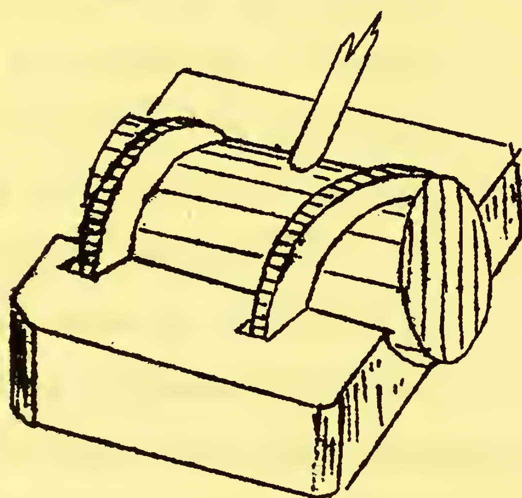


Articulation en cône

On peut trouver des articulations en trochlée ou en trochloide creusées d'un pas de vis (Fig.33), de telle sorte que l'une des surfaces représente un écrou et l'autre une vis, se pénétrant réciproquement. Dans cette articulation, aux mouvements de flexion et d'extension s'ajoute

~~un mouvement de translation,~~ suivant l'axe de la vis, c'est-à-dire un mouvement en hélice; le type de cette articulation est l'articulation du coude. Lorsque l'avant-bras et le bras pendent verticalement, l'avant-bras est plus externe que le bras, mais, par flexion, il devient plus interne. Si l'on considère la surface articulaire elle-même, on y trouve nettement creusé, un pas de vis dont le pas est de 3 à 4 millimètres.

Fig. 33.-



Articulation en hélice

Surfaces articulaires dérivées du plan.-Ces surfaces articulaires sont de beaucoup les moins importantes et ne permettent que des mouvements très-faibles, le seul mouvement possible est d'ailleurs le glissement.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

5me Leçon

M E C A N I Q U E D E S M O U V E M E N T S P A R T I E L S.

Machines simples.- Poulies Leviers.- Effets des leviers.- Equilibre de la tête Levier du 2me genre.- Flexion du bras.- Effets de force.- Conditions du maximum d'effet utile.- Mécanisme du soulèvement du corps sur la pointe des pieds.- Importance des surfaces articulaires dans la détermination de la forme du mouvement.-

Après l'étude du moteur de la machine animale, après l'étude des barres rigides qui la composent et des articulations, points d'appui autour desquels tournent ces barres rigides, il reste à étudier les machines simples dont toutes ces parties sont les éléments, et dont la réunion forme la machine animale complète.

Les machines simples utilisées en mécanique, sont au nombre de trois, ce sont: le plan incliné, la poulie et le levier.

Dans la machine animale on ne trouve pour ainsi dire, pas de plan incliné, les raisons en seraient peut-être nombreuses à donner; mais on trouve quelques poulies ou dispositifs pouvant leur être assimilés, et une grande quantité de leviers.

Poulie.- La poulie de la machine animale n'est pas le disque classique assujetti à tourner autour d'un axe sur lequel se

produit le frottement. Dans la machine vivante, le disque ou partie de disque est fixe; il est creusé lui aussi, comme la poulie, d'une gorge ou d'une gouttière dans laquelle glisse le lien flexible destiné à vaincre la résistance. Le frottement se fait entre le lien et la gorge, et est rendu aussi petit que possible. Le point important, c'est-à-dire la réflexion ou le changement de la direction de la force est obtenu comme il l'est dans les poulies ordinaires décrites en mécanique. Citons comme exemple la gouttière bicipitale qui produit un changement de direction d'à peu près 90° du tendon du biceps.

Levier.- C'est de beaucoup la machine simple la plus commune dans la machine animale, l'on peut dire que celle-ci n'est constituée que par une suite de leviers de tous les genres et que c'est par leur intermédiaire que presque tous les mouvements du corps de l'homme ou des animaux, mouvements partiels aussi bien que de totalité, sont effectués. (Voir pour les muscles dont l'action est utilisée directement 2me Leçon,p. 30).

Je rappellerai rapidement quelques notions de mécanique élémentaire, nécessaires pour comprendre le fonctionnement des leviers de l'organisme. Nous savons d'abord que le levier est une barre rigide, rectiligne ou courbe, pouvant tourner autour d'un point fixe auquel il est lié, et sur laquelle barre agissent deux forces opposées, l'une appelée la puissance et l'autre la résistance.

Principe d'équilibre des leviers.- Pour qu'un levier soit en équilibre, il faut et il suffit que les moments des forces qui

agissent sur lui soient égaux; on appelle d'ailleurs moment d'une force le produit de l'intensité de cette force par son bras de levier et le bras de levier d'une force est la longueur de la perpendiculaire menée du centre de rotation du levier sur la direction de la force, ce sont là les seuls principes de mécanique dont nous aurons besoin dans tout ce qui va suivre.

Effets divers que produisent les leviers dans la machine animale.- Les effets que les leviers sont destinés à produire dans la machine animale peuvent être classés dans trois catégories bien distinctes:

1°.- Effets d'équilibre;

2°.- Effets de force;

3°.- Effets de mouvement.

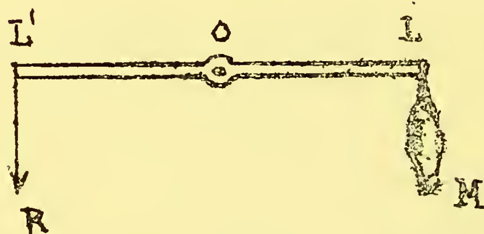
Effets d'équilibre.- Dans les effets d'équilibre obtenus dans l'économie, la force musculaire est utilisée de telle façon qu'elle n'ait à produire ni un grand effort ni un grand déplacement. La puissance et la résistance sont à peu près d'égale grandeur et il en résulte que leurs moments ne sont pas très-différents l'un de l'autre. Or, quelle est l'espèce de levier qui peut réaliser le mieux ces effets d'équilibre, si ce n'est celui avec lequel on constitue les balances ordinaires.

C'est donc le levier du premier genre qui, dans l'économie produit ce qu'on est convenu d'appeler les effets d'équilibre.

Rappelons que dans le levier du premier genre, (Fig. 34), le point fixe, l'articulation du levier O ,est placé entre les points d'application L M de la puissance et de la résistance.

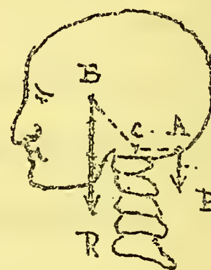
Comme exemple d'un effet d'équilibre produit dans l'économie par un levier du premier genre, citons le maintien de la tête sur l'articulation occipito-atloidienne (Fig. 35); le centre de gravité de la tête étant en B ,la pesanteur agit comme résistance en B R ,tendant à faire basculer la tête en avant, autour de l'articulation occipito-atloidienne en C ;la puissance représentée en A P et constituée par les muscles de la nuque, fait équilibre à la pesanteur.

Fig. 34



Levier du 1er genre
Effet d'équilibre

Fig. 35



Equilibre de la tête

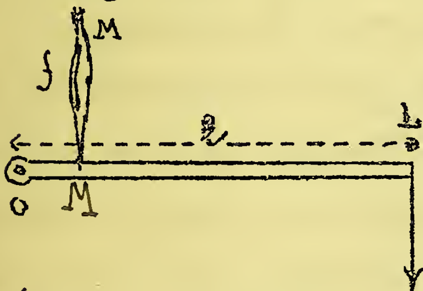
Bien que les effets d'équilibre soient nombreux dans l'économie et souvent produits par des contractions musculaires, on ne trouve que de rares leviers du premier genre, et cela entre autres pour cette raison qu'aucun os long n'est articulé vers le milieu de sa longueur comme il serait nécessaire pour constituer un levier du

premier genre, les articulations siégeant toujours aux deux extrémités des os.

<u>Effets de mouvement</u>.- Les leviers peuvent servir à faire prédominer le déplacement ou le chemin parcouru au détriment de l'effort, et produire, suivant une expression légèrement impropre, des effets de mouvement. C'est le problème le plus souvent résolu dans l'organisme, car les mouvements doivent avoir fréquemment une grande amplitude avec des bras de levier donnés et aussi avec la nécessité de la conservation des formes générales de l'animal.

Cherchons donc les conditions pour qu'avec un os donné servant de levier, mobile à une de ses extrémités, autour d'une articulation, il puisse par son autre extrémité exécuter des mouvements d'aussi grande amplitude que possible, tout en n'exigeant pas un raccourcissement trop considérable du muscle moteur. Soit O L (Fig.36) l'os formant la barre rigide du levier, O l'articulation autour de laquelle il est mobile.

Fig. 36.-



Levier du 3ème genre
Effet de mouvement

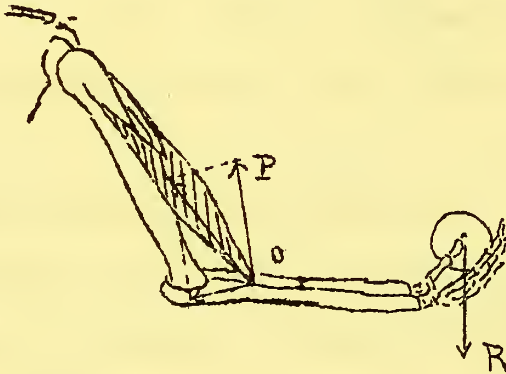
Le plus grand mouvement possible sera exécuté par la résistance constituée par l'objet à mouvoir, lorsque le bras de levier de cette résistance sera égal à toute la longueur de l'os, c'est-à-dire à O L.

Il en découle que le genre de levier est déterminé par cela même. Ce levier sera du troisième genre et la puissance aura un point d'application intermédiaire entre l'articulation

et le point d'application de la résistance; soit M ce point d'application le bras de levier de la puissance sera alors O M .Il devra être assez grand pour que le muscle puisse vaincre; malgré ce désavantage du bras de levier, la moyenne des résistances placées en L et d'autre part, il devra être assez petit pour que le mouvement de M autour du point O ne dépasse pas le maximum de raccourcissement musculaire possible.

Les exemples de ce levier sont très-nombreux dans l'économie; à peu près tous les mouvements d'extension et de flexion des membres se font par son intermédiaire. Citons parmi eux la flexion de l'avant-bras sur le bras, (Fig. 37), le point d'appui du levier étant O au niveau de l'articulation du coude, la résistance représentée par le poids de l'avant-bras et par le poids à soulever tenu dans la main, est appliqué en R .La puissance P est fournie par les contractions du muscle biceps, que nous supposerons seul en jeu dans le mouvement de flexion, bien que d'autres muscles y participent.

Fig. 37.-



Mécanisme de la flexion de l'avant bras sur le bras

Il est facile de voir sur la Fig. 37 que les points d'application de la puissance et de la résistance se déplaceront sur deux circonférences concentriques ayant pour centre le point O ,que les

chemins parcourus sont comme les rayons de ces deux circonférences, c'est-à-dire que le chemin parcouru par la main sera beaucoup plus grand que celui parcouru par le point d'insertion A du biceps sur le radius.

On trouverait de même des leviers du troisième genre dans l'extension de l'avant-bras sur le bras, dans l'extension et la flexion de la cuisse sur le bassin, dans l'extension et la flexion de la jambe sur la cuisse. Il est à remarquer que pour ces mouvements, à cause de la variation de longueur des bras de levier sur lesquels s'insèrent la puissance et la résistance, l'effort à faire est très-variable. Si on décompose en effet A P qui représente la contraction musculaire, en deux autres A T , A N ,la force A N sera seule efficace, la force A T tendant à appliquer l'avant-bras sur l'humérus et à maintenir la contiguité des deux surfaces articulaires au point O .Or cette force A N subira des variations quand l'angle que fait le bras avec l'avant-bras changera. On trouve par des considérations trigonométriques que cette composante A N, dite composante <u>rotatoire</u>, croît à mesure que l'angle du bras et de l'avant-bras croît lui-même de 0 à 90°. La composante rotatoire décroît ensuite lorsque cet angle passe de 90° à 180°. Quant à la force totale musculaire à développer, elle va constamment en augmentant à mesure que le même angle augmente (Schlagdenhauffen, Imbert).

<u>Effets de force</u>.- Les leviers peuvent encore servir dans l'organisme à augmenter l'effort au détriment du chemin parcouru ou du déplacement, et produire, suivant une expression consacrée, bien

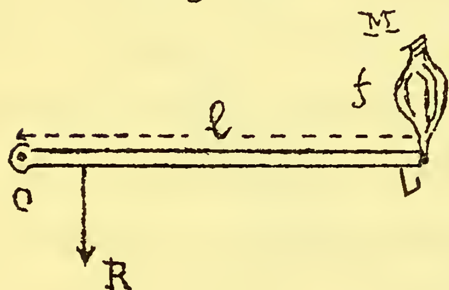
qu'impropre, des effets de force. En réalité, des deux facteurs du travail musculaire, intensité de l'effort et chemin parcouru, il peut être nécessaire d'augmenter l'un, l'effort, tandis que l'autre sera diminué proportionnellement; en un mot, le travail sera changé dans sa forme et l'intensité de l'effort prédominera.

Cherchons donc, comme précédemment, comment, avec un os de longueur donnée, mobile autour de l'une de ses extrémités, on pourra produire un effort suffisant pour vaincre une résistance aussi grande que possible. Soit O L (Fig. 38), l'os mobile autour de l'articulation O ,soit f l'intensité de la force produite par le muscle agissant sur le levier O L ,le moment de cette force sera:

$$m = f K l$$

l étant la distance du point d'insertion du muscle à l'articulation mobile, et K l le bras de levier par l'intermédiaire duquel agit le muscle actif ; K étant un coefficient fractionnaire qui n'est égal à l'unité que lorsque la direction du tendon d'insertion est perpendiculaire à l'axe de l'os. C'est ce moment m = f K l qu'il faut rendre maximum.

Fig. 38.-



Levier du 2e genre
Effet de force

Or nous savons que pour qu'un produit soit maximum il faut et il suffit que chacun de ses facteurs le soit. Pour que f ,l'intensité de l'effort produit soit maximum, il faut, comme nous l'avons vu à propos de la mécanique musculaire proprement dite (voir p. 20), étant donné le volume du muscle,

que la section moyenne de ce muscle soit très-grande par rapport à sa longueur. Le muscle destiné à produire des effets de force sera donc un muscle relativement court et épais.

Pour que K l soit maximum, il faut que l soit maximum et que K soit aussi voisin de l'unité que possible. Or l ne peut dépasser O L la longueur totale de l'os, et par conséquent, l maximum égalera O L.

Pour K ,ce coefficient se rapprochera d'autant plus de l'unité que la direction du tendon d'insertion du muscle actif sur O L sera plus voisine de la perpendiculaire à l'axe de l'os.

En résumé, m sera maximum avec un muscle épais et court avec un point d'insertion en L ,et avec une direction L M du tendon d'insertion perpendiculaire à l'axe mobile.

Mais il ne suffit pas pour que les conditions les plus favorables soient remplies, d'examiner l'action de la puissance, il faut considérer encore l'action de la résistance.

Tout d'abord, par les considérations qui précèdent, le genre de levier que l'on trouvera dans l'économie pour produire des effets de force, est déterminé; ce sera un levier du second genre. En effet, le point d'appui et le point d'application de la puissance occupant les deux extrémités du levier, le point d'application de la résistance ne pourra occuper qu'un point intermédiaire, R, ce sera un levier inter-résistant.

De plus, pour vaincre une résistance aussi grande que possible, toutes les autres conditions restant les mêmes, il faudra les

faire agir sur un bras de levier aussi court que possible. Le point d'application sera donc très près du centre de rotation du levier, en R par exemple.

De plus, la direction de la force devrait être aussi oblique que possible par rapport au levier. Nous verrons qu'il résulterait de cette obliquité des inconvénients que n'en compenseraient pas les avantages.

En résumé, le levier qui, dans l'organisme modifie les facteurs du travail musculaire, de manière à faire prédominer l'effort, est le levier du deuxième genre.

Avec ce levier, le maximum d'effet utile est obtenu lorsque:

Du côté de la puissance	1° Le muscle actif est épais et court; 2° L'insertion est aussi éloignée que possible de l'articulation. 3° La direction du tendon d'insertion est aussi peu oblique que possible à l'axe de l'os.
Du côté de la résistance	Le bras de levier est aussi court que possible.

De tels leviers faisant prédominer dans le travail du muscle, l'effort produit sur le déplacement, sont assez nombreux dans l'organisme, mais beaucoup moins nombreux cependant que les leviers du troisième genre dont nous avons parlé plus haut. Nous retrouvons chez tous, les conditions mécaniques requises pour le maximum d'effet utile.

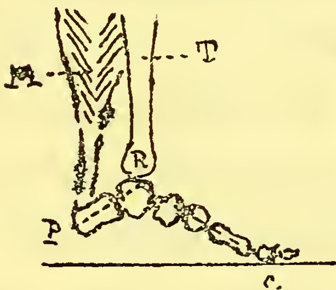
Le levier formé par le maxillaire inférieur et le muscle masséter en est un exemple; on sait que, au point de vue anatomique, le muscle masséter s'insère sur l'arcade zygomatique et que ses fibres descendent verticalement pour aller s'insérer au niveau de l'angle du maxillaire inférieur et très en avant de cet angle. Le point de rotation du levier est au niveau de l'articulation temporo-maxillaire et l'application de la résistance peut se trouver soit sur les deux dernières molaires, et dans ce cas, on a affaire à un levier du deuxième genre, produisant des effets puissants d'écrasement, soit plus en avant que l'insertion des fibres les plus antérieures du masséter, et alors on a affaire à un levier du troisième genre, dans lequel le déplacement prédomine d'autant plus que la résistance se rapproche davantage des incisives. Nous ne considérerons que le fonctionnement du maxillaire comme levier du deuxième genre faisant prédominer l'effort sur le développement.

Le muscle actif est bien tel que les considérations mécaniques déduites théoriquement plus haut, l'avaient fait pressentir; il est épais et court; la direction de ses fibres et de son tendon d'insertion sont perpendiculaires à l'axe du levier qu'ils doivent mouvoir; enfin, si l'insertion du muscle elle-même n'est pas aussi éloignée de l'articulation qu'elle pourrait l'être, c'est afin de ne pas gêner l'ouverture buccale. D'ailleurs, chez les animaux et particulièrement chez les carnassiers, le développement de ce muscle et son point d'insertion peuvent encore plus que chez l'homme faire prédominer l'effort possible sur le déplacement du levier.

Du côté de la résistance, la condition théorique énoncée également plus haut, est aussi parfaitement remplie. Lorsque la mastication, fonction à laquelle le levier en question est adapté, doit se faire sur un corps présentant une dureté assez grande, instinctivement ou par l'effet d'une expérience antérieure acquise, ce corps est placé entre les deux dernières molaires, de manière à diminuer autant que possible le bras de levier de la résistance. Ce n'est que dans le cas où le corps à mastiquer présente une dureté faible qu'il est placé de plus en plus loin de l'articulation du levier, les corps mous étant placés à l'extrémité même de ce levier, c'est-à-dire au niveau des incisives.

Mais le levier du second genre, de beaucoup le plus important de l'organisme, puisqu'il sert pour ainsi dire à produire tous les mouvements de totalité de notre corps, est celui qui est formé par le pied tout entier considéré comme arcade rigide, et le triceps sural. (Fig. 39).

Fig. 39.-



Action des muscles soléaire et jumeaux sur un levier du 2e genre

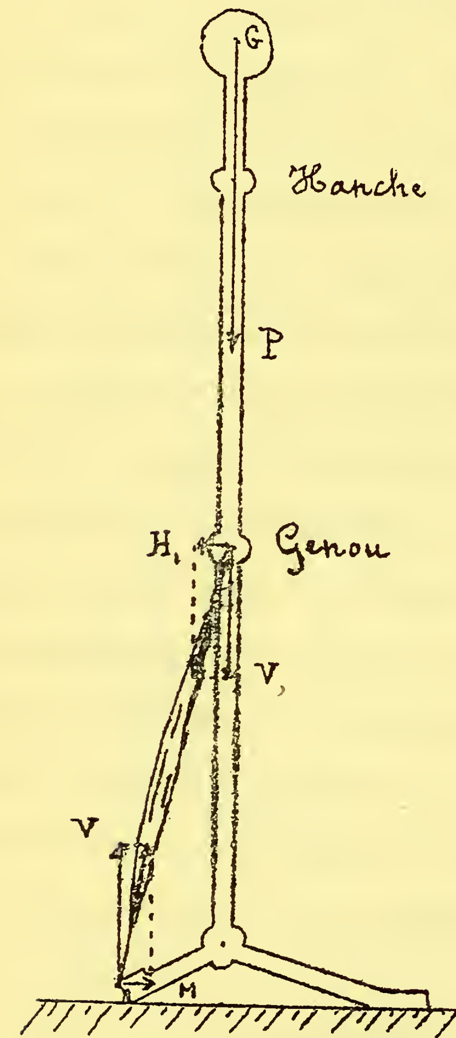
Au point de vue anatomique, nous trouvons que le point d'application de la résistance formée par le poids du corps est situé au niveau de l'articulation tibio-astragalienne, le point d'application de la puissance étant à l'insertion du tendon d'Achille sur le calcanéum, et enfin le point de rotation du levier étant au niveau des articulations métatarso-phalangiennes. Dans ces conditions, le bras de levier de la résis-

tance est à peu près les 2/3 seulement du bras de levier de la puissance. Toutes les autres conditions du maximum d'effet utile sont d'ailleurs fidèlement remplies; tout d'abord, le muscle actif est très épais, il est formé par les jumeaux qui s'insèrent sur les condyles interne et externe du fémur, et par le soléaire inséré à l'extrémité supérieure du péroné et du tibia. Le tendon d'Achille prolonge ces deux muscles, mais on sait que les fibres musculaires, surtout en ce qui concerne les jumeaux, n'occupent que la moitié au plus de la longueur entre les deux insertions. Le muscle actif est donc encore là épais et court et destiné par sa conformation même à produire des effets de force. L'insertion du tendon d'Achille sur la pointe la plus extrême du calcanéum est aussi éloignée que possible du point de rotation du levier à l'articulation métatarso-phalangienne. Enfin, la direction du tendon d'insertion est perpendiculaire à l'axe du levier; les trois conditions théoriques citées plus haut sont réunies. Le fonctionnement de ce levier est on ne peut plus simple; par la contraction du triceps, le corps formant une tige rigide, bascule autour de l'articulation métatarso-phalangienne, s'incline en avant, reposant sur le métatarse et les orteils, le talon étant soulevé.

On a contesté le mécanisme du soulèvement du corps de l'homme sur la pointe des pieds, indiqué depuis longtemps par les frères Weber et reproduit dans tous les livres classiques, et l'on a considéré comme une erreur d'avoir vu là un levier du deuxième genre constitué par le pied et mû par le triceps sural. Il nous

semble au contraire que cette notion ancienne est bien l'expression de la vérité. L'on peut le démontrer par les considérations mécaniques très-simples suivantes: soit le schema ci-dessous (Fig. 40) représentant le pied et le membre inférieur supportant le poids du corps dont le centre de gravité est à quelques centimètres au-dessus de l'articulation de la hanche. Le membre inférieur forme un tout rigide ne devant tourner provisoirement autour d'aucune de ces articulations, afin que le soulèvement du talon soit transmis intégralement au tronc. Le triceps sural est seul représenté avec ses points d'insertion; seul il se contracte et comme tous les muscles, il tend à rapprocher ses deux points d'insertion. L'on pourra donc représenter son action par deux forces, l'une appliquée au niveau de son insertion supérieure, l'autre au niveau du calcanéum, dirigées en sens inverse et suivant la longueur des fibres du muscle.

Fig 40.-



Soulèvement du corps sur la pointe du pied

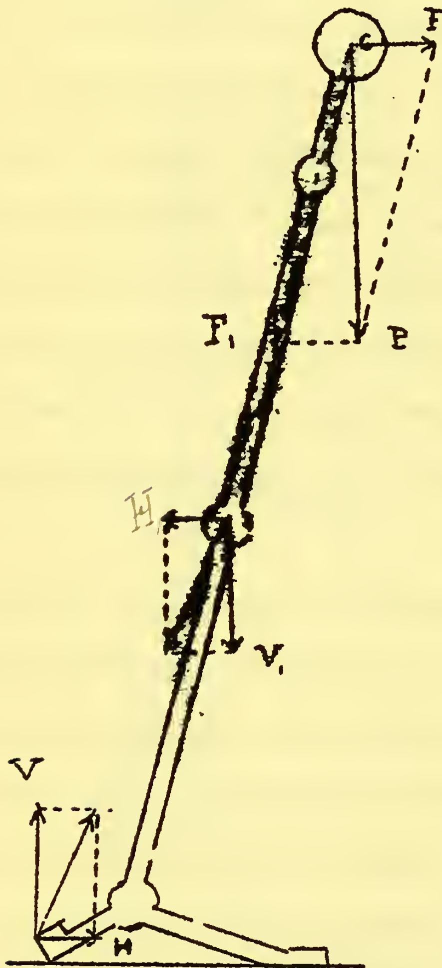
Or, chacune de ces deux forces se décompose en deux; celle appliquée au genou donnera une composante horizontale H_1 dirigée perpendiculairement à l'axe du membre, l'autre composante V_1 étant verticale et dirigée suivant cet axe. La force appliquée au calca-

néum donnera elle-même une composant verticale V et une composante horizontale H .De ces quatre composantes ainsi déterminées, deux seront inefficaces: la composante V_1 et la composante H ,car l'une V_1 s'ajoutera au poids du corps, et l'autre H sera détruite par la résistance des parties osseuses. Les deux autres composantes V, H_1, vont subsister: l'une, V agissant sur le bras de levier constitué par toute la longueur du pied, va soulever le poids du corps, suivant le mécanisme du levier du deuxième genre; l'autre, la composante H_1 qui naîtra en même temps que la composante efficace V par la contraction du muscle triceps, va tendre à entraîner l'axe du membre et par conséquent le centre de gravité du corps en arrière. Or ce centre de gravité sortira très-vite de la base de sustentation très peu étendue de ce côté, et la chute du corps se produira.

L'axe du corps étant parfaitement vertical, il y aura donc impossibilité au soulèvement du poids du corps par la contraction du muscle triceps et par le mécanisme du levier du deuxième genre, mais cette impossibilité ne sera pas de nature mécanique, c'est seulement parce qu'elle entraînerait sûrement la chute du corps en arrière qu'elle ne se produira pas. Ce qui le prouve, c'est que si l'on empêche la composante horizontale d'être efficace en lui opposant un obstacle fixe comme l'a fait remarquer M. Richer (Physiol. Artistique p. 193), le soulèvement du corps se produira facilement; on pourra même incliner le corps en arrière à condition d'empêcher sa chute, le soulèvement se produira d'autant mieux.

Plaçons maintenant le schema précédent, de manière à incliner le membre et le centre de gravité du corps en avant (Fig.41) en les faisant légèrement tourner autour de l'articulation tibio-tarsienne; décomposons, comme précédemment, les deux forces qui

Fig. 41.-



Soulèvement du corps sur la pointe du pied

représentent la contraction du triceps sural, nous voyons que ces deux forces donnent comme précédemment, une composante efficace V qui soulèvera le poids du corps par le mécanisme du levier du second genre, tandis que la force H_1 bien que de grandeur moindre, tendra toujours à le renverser en arrière. Mais il faut ici considérer de plus le poids du corps tout entier appliqué à son centre de gravité et représenté par une force verticale P en ce point; cette force se décompose elle-même en deux: la force F_1 dirigée suivant l'axe du membre, c'est le poids à soulever, et la force F tendant à entraîner le corps en avant. Or, les deux forces F et H_1 sont opposée et peuvent se détruire si l'inclinatson du corps en avant n'est ni exagérée ni insuffisante. Dans ces conditions, une seule subsistera, la force verticale V dont l'efficacité n'aura aucune conséquence sur l'équilibre du corps, et qui soulèvera par conséquent, par le

mécanisme du levier du second genre, le corps tout entier sur la pointe des pieds.

Cette démonstration permet donc de considérer comme exacte l'ancienne notion de mécanique par laquelle le poids du corps est bien soulevé sur la pointe du pied par le mécanisme du levier du second genre.

Le nombre de ces mouvements partiels que l'homme peut exécuter est considérable, et nous pouvons tous les passer en revue, mais il est un principe qui régit tous ces mouvements partiels quels qu'ils soient, c'est que de tous les organes qui entrent en fonction pour les réaliser, chacun a son action nettement déterminée; le muscle est l'organe moteur d'où provient toute l'énergie dépensée dans le travail mécanique, l'os est le levier nécessaire pour la bonne utilisation ou la transformation du travail musculaire; enfin, l'articulation détermine, par sa forme anatomique, l'étendue et la nature même du mouvement. C'est en effet, des surfaces articulaires en contact que dépend la forme et l'étendue du mouvement produit; ainsi par exemple, les mouvements de circumduction ne peuvent être accomplis par le même levier, s'il n'a comme articulation une surface sphérique, quels que soient d'ailleurs les muscles moteurs de l'os considéré. Une articulation cylindrique ou présentant toute autre forme, ne pourra jamais produire un mouvement de circumduction à elle seule. L'articulation en condyle ou en selle, pourra produire de par la nature de sa surface, à la fois des mouvements d'adduction, des mouvements d'abduction et aussi des mouvements de flexion et

d'ex~~citat~~tension, jamais elle ne produira des mouvements parfaits de circumduction. Enfin, aux articulations cylindriques sont dévolus seulement les mouvements dans un plan, que ces mouvements soient des mouvements de flexion ou d'extension, ou encore des mouvements de pronation et de supination.

La fonction du muscle n'est donc qu'une fonction motrice; le muscle ne fait que rapprocher ses deux points d'insertion, et si on lui donne l'épithète de fléchisseur ou d'extenseur, d'adducteur ou d'abducteur, de pronateur ou de supinateur, c'est qu'on sous-entend que la forme de l'articulation qu'il est destiné à mouvoir a conservé son intégrité physiologique. Ce n'est que dans ce cas que les épithètes en question sont exactes. Il arrive en effet, dans certains cas pathologiques, que ces épithètes ne s'appliquent plus, si la déformation articulaire a été suffisante pour s'éloigner suffisamment de l'articulation normale. Ainsi, dans certains pieds-bots très déformés et habituellement congénitaux, le long péronier latéral peut devenir fléchisseur du pied sur la jambe, tandis que, à l'état physiologique du pied, il est extenseur. D'autres exemples pourraient être cités, celui-ci suffit pour permettre de retenir ce principe de mécanique animale, que c'est la forme de l'articulation qui régit l'amplitude et la nature même du mouvement produit.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

6me Leçon

DES COORDONNEES STATIQUES DU CORPS DE L'HOMME

Principales dimensions.- Taille.- Variation de la taille.- Ceinture.- Poids.- Instruments utilisés pour la mesure du poids en médecine.- Causes d'erreurs.- Alimentation.- Vêtements.- Autres causes.-

Après l'étude des mouvements partiels qui sont produits dans l'organisme, c'est-à-dire des mouvements dans lesquels une partie du corps restant fixe, l'autre est mobile, il importe d'étudier les mouvements de totalité dans lesquels le corps tout entier se déplace par un mouvement de translation vis-à-vis du sol sur lequel il repose.

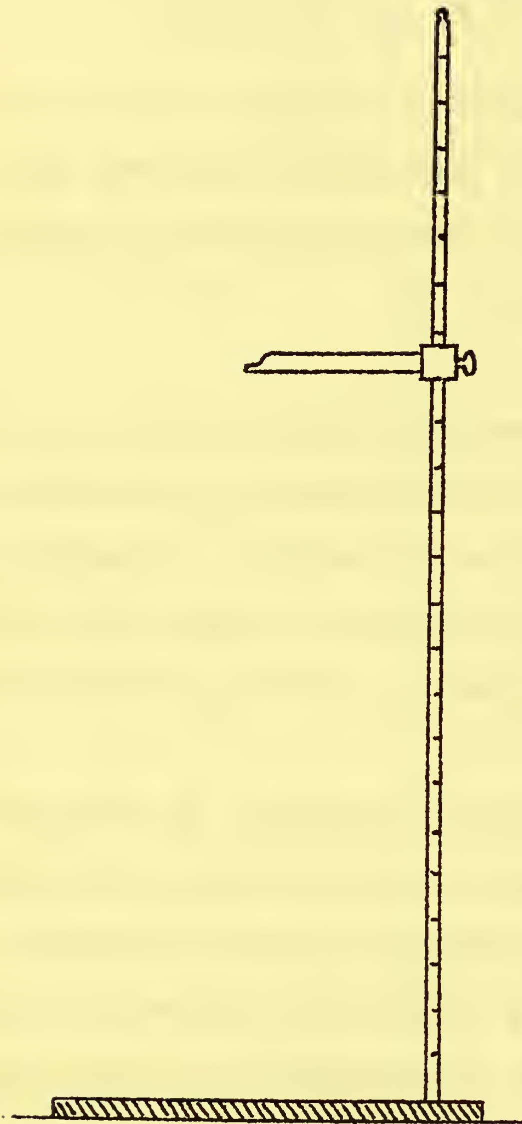
Mais, avant d'étudier ces mouvements de totalité, il est important de connaître, au point de vue mécanique, le mobile qui doit en être le siège. Or, un corps matériel pour être connu au point de vue mécanique, doit être soumis à certaines déterminations ayant pour but d'en faire connaître ce que j'appellerai les coordonnées statiques.

Les coordonnées statiques du corps de l'homme, que nous aurons à déterminer, sont les suivantes:

1°.- Ses principales dimensions, consistant plus particu-

lièrement en (a, sa taille; (b, la longueur de sa circonférence au niveau de la ceinture ou le tour de taille.

Fig. 42.-



Toise.

2°.- Son poids;

3°.- Son volume;

4°.- Sa surface;

5°.- Son centre de gravité;

6°.- Sa densité moyenne;

Nous allons passer en revue les méthodes pour déterminer chacune de ces coordonnées dont l'importance s'accroît tous les jours, en médecine, particulièrement après les recherches très-récentes du professeur Ch. Bouchard.

Taille de l'homme.-Instruments de mesure.- La taille de l'homme est la longueur de la verticale entre les deux plans horizontaux qui passent, l'un par la plante des pieds du sujet déchaussé, l'autre qui est tangent au vertex ou point culminant de la tête, lorsque le sujet est adossé debout et regarde droit devant lui.

On se sert pour mesurer la taille, de l'instrument très-simple ci-joint (Fig. 42), une équerre mobile glisse le long d'une règle graduée verticale, et peut être fixée par une vis de pression au point où elle s'arrête.

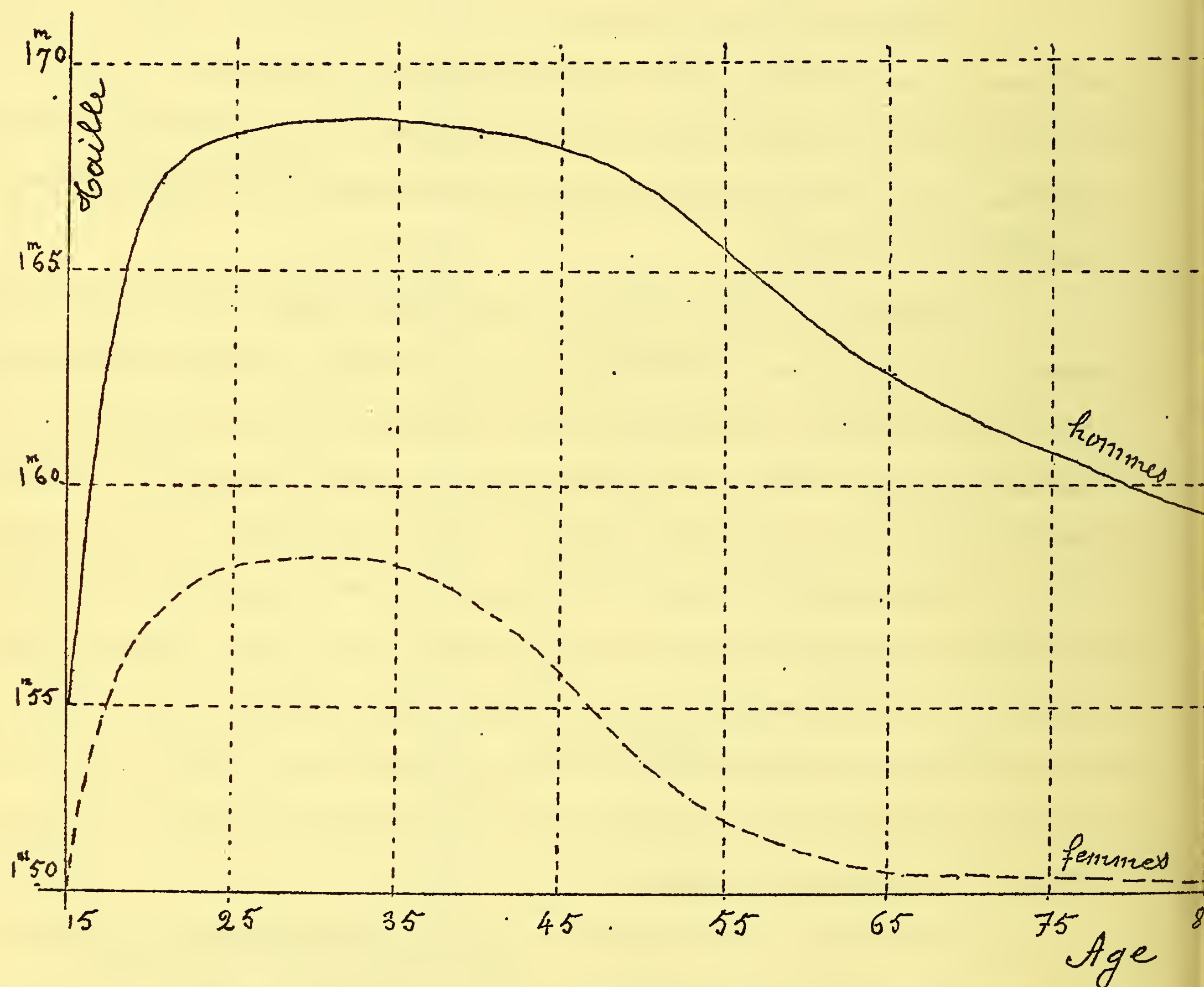
On appelle quelquefois toise, cet appareil primitif, mais suffisant, employé dans tous les conseils de révision. La taille peut être mesurée exactement en centimètres, l'approximation des millimètres n'est qu'illusoire, les erreurs commises pouvant dépasser plusieurs millimètres.

Variation de la Taille.- La taille peut varier suivant diverses circonstances; tout d'abord avec l'âge, puis avec le sexe, enfin, sous diverses conditions physiologiques ou pathologiques. La courbe ci-jointe (Fig. 43), représente, d'après Quételet, les variations de la taille pour l'homme et pour la femme, à partir de l'âge de 15 ans jusqu'à l'âge de 80 ans. On y voit que la taille moyenne de l'homme est plus élevée que la taille de la femme, que de plus, le maximum de la taille n'est pas atteint avant l'âge de 25 à 30 ans; qu'à partir de ce moment-là jusqu'à peu près vers l'âge de 45 ans, la taille reste stationnaire, et qu'elle décroît ensuite à mesure que le sujet avance en âge.

La taille varie encore avec les diverses races humaines; les hommes les plus grands, d'après M. Topinard, sont les habitants de la Patagonie, dont la taille moyenne est de 1 m 78. Toutes les nations européennes, sauf les Anglais et les Scandinaves, sont classées dans les tailles moyennes de 1 m 60 à 1 m 70. Enfin, parmi

les petites tailles (moins de 1 m 60) les hommes les plus petits sont les Boschimans, dont la taille moyenne égale 1 m 40.

Fig.- 43.-



Variation de la taille avec l'âge
(d'après Quételet)

D'après M. Arthur Chervin, on peut diviser les tailles des

sujets qui se présentent à la conscription en.

	Très petites tailles, moins de	$1^{m}56$ (conscrits réformés)
	Petites tailles de	$1^{m}560$ à $1^{m}597$
	Moyennes tailles de	$1^{m}598$ à $1^{m}678$
	Tailles élevées, de	$1^{m}679$ à $1^{m}732$
3Enfin:	Tailles exceptionnelles de	$1^{m}815$ & au-dessus

La taille peut varier plus ou moins brusquement, dans certaines conditions physiologiques ou pathologiques; ainsi, l'on constate, et c'est un fait d'expérience vulgaire, qu'au moment de la croissance, c'est-à-dire entre l'âge de 12 à 25 ans, une maladie ayant nécessité un long séjour au lit, cause un accroissement de la taille relativement considérable, eu égard au temps pendant lequel il s'est effectué. Une explication mécanique peut être donnée de ce fait, car l'on a remarqué également que la taille pouvait diminuer de quelques millimètres après une longue station debout ou une longue marche. La charge du poids du corps au niveau des épiphyses osseuses serait dont une cause empêchant l'accroissement de la longueur des os; au contraire, le long repos dans la position horizontale serait une condition favorable pour l'accroissement de cette longueur. De même, la compression longtemps continuée des cartilages inter-articulaires supportant la pression directe du poids du corps, tendrait à diminuer l'épaisseur de ces cartilages; le repos tendrait au contraire à l'augmenter.

Tour de Taille.- Le tour de taille, appelé aussi tour de ceinture, est la longueur de la circonférence du corps de l'homme

mesurée au niveau de l'ombilic, et passant immédiatement au-dessus des deux épines iliaques, antérieure et supérieure; on prend ce tour de taille au moyen d'un ruban flexible gradué en centimètres; l'approximation ainsi obtenue ne peut guère dépasser le centimètre, et varie lorsque le sujet est en inspiration ou expiration. La détermination du tour de taille est importante, car elle est employée comme constante pour la recherche du volume ou de la surface du corps.

Détermination du poids.- La détermination du poids de l'homme, en médecine, est de la plus haute importance; c'est par ses variations qu'il est possible de se rendre compte des actions de nutrition ou de dénutrition auxquelles est soumis l'organisme. A mesure que "la préoccupation de ce qui concerne la nutrition, comme le dit le professeur Ch. Bouchard, se sera introduite de plus en plu profondément dans l'esprit du médecin, les investigations relatives aux modifications du poids du corps et aux proportions des matériaux excrémentiels, occuperont dans l'exploration clinique une place de plus en plus importante."

Instruments utilisés.- Les instruments utilisés pour mesurer le poids du corps de l'homme sont nombreux; Monneret employait autrefois, à la Charité, une balance ordinaire à fléau, que l'on transportait dans les salles d'hôpital, au lit de chaque malade. Cet appareil très-lourd et très-encombrant, nécessitait encore le transport de poids considérables; il avait cependant un avantage, c'est une sensibilité assez grande pour déceler d'après les recherches de ce savant et de ses élèves, les variations de dix grammes

sur le poids total. Aujourd'hui, les instruments utilisés sont le peson ordinaire, la balance de Roberval, et enfin la balance de Quintenz, vulgairement bascule. Le peson et la balance de Roberval servent surtout pour les nouveau-nés ou les jeunes enfants; la balance de Quintenz est presque exclusivement utilisée pour les adultes. Mais la balance de Quintenz ordinaire a une sensibilité insuffisante, il est rare que la sensibilité de cet appareil aille à 25 grammes; nous estimons qu'une sensibilité permettant d'évaluer des différences de poids de 10 à 15 grammes, est nécessaire et suffisante.

D'autre part, la balance de Quintenz ordinaire, à moins qu'on ne place sur sa plate-forme un siège approprié dont il faut faire la tare, nécessite de la part su sujet la station verticale; or cette station ne peut être conservée avec l'immobilité suffisante pour permettre une pesée précise; d'autre part, certains malades ne peuvent même rester debout quelques instants.

Enfin, il est difficile avec la balance de Quintenz ordinaire, d'empêcher le malade de lire en même temps que le médecin, le poids trouvé, et il peut résulter des inconvénients, au point de vue suggestif, de cette trop grande facilité de lecture.

C'est pénétré de ces diverses conditions à remplir que j'ai fait disposer une balance de Quintenz pour les usages médicaux, dont vous voyez ici un exemplaire. Le constructeur a su allier à la plus grande simplicité de maniement, une exactitude parfaite dans les pesées, et une sensibilité suffisante pour déceler des variations de dix grammes sur un poids maximum de 150 Kil. Cette balance se

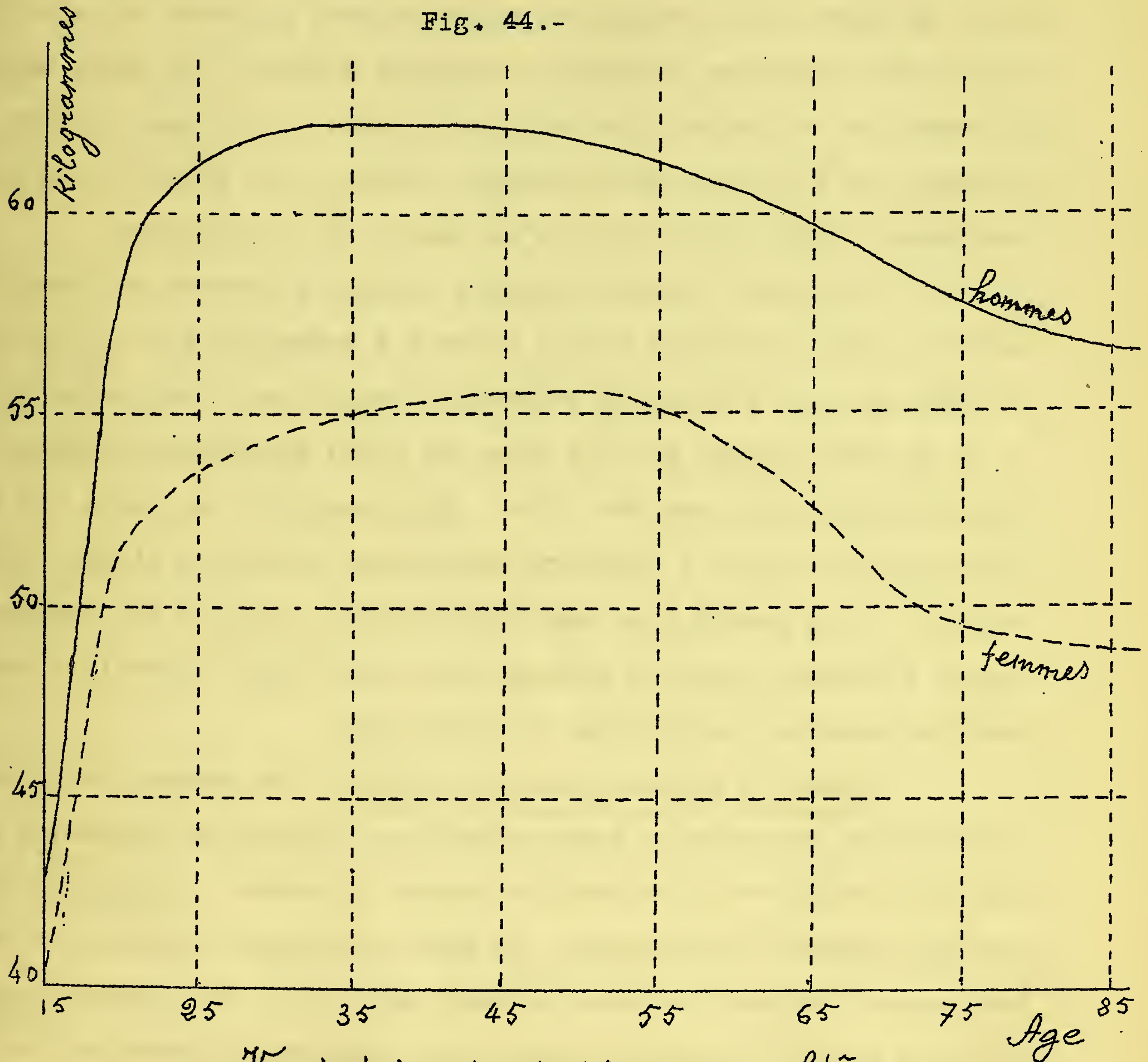
compose essentiellement d'une plateforme montée sur une table suffisamment basse, pour que le sujet à peser puisse s'y asseoir facilement, ou après qu'on a approché de la table un petit tabouret; la table est construite de telle façon que toutes ses parties soient en dedans de l'aplomb de la plateforme oscillante sur laquelle il est assis. Le frottement des vêtements, même ceux de femme, ne peuvent ainsi apporter aucune erreur dans le poids trouvé Le sujet est confortablement assis et repose sur son siège et sur ses fémurs, le genou dépassant seul la plateforme; ses reins portent contre un petit dossier qui permet une immobilité facile et complète. Enfin, il tourne le dos aux tiges graduées sur lesquelles se font les lectures.

Pour opérer une pesée avec la balance, après avoir placé le sujet sur le plateau et l'avoir confortablement installé, on déplace le premier curseur sur la tige graduée en dizaines de kilos, jusqu'au cran immédiatement inférieur au poids du sujet, puis c'est le tour du curseur mobile sur la tige des kilos, déplacé de la même façon jusqu'au chiffre immédiatement inférieur. Enfin, c'est le petit curseur mobile, sur la tige des dizaines de grammes, dont chacune des divisions porte des subdivisions en dix parties, qui est placé au point donnant l'équilibre parfait, c'est-à-dire met en regard les deux alidades.

L'intervalle des poids que peut mesurer cette balance, c'est-à-dire ce que les anglais appellent le Range" de l'instrument part de dix grammes et va jusqu'à 150 Kilogs; tout le poids du corps de l'homme se trouve donc compris dans cet intervalle.

Variation du poids.- Les variations du poids de l'homme sont, comme ses variations de taille, très nombreuses et tiennent à des causes fort différentes, la courbe ci-jointe (Fig. 44)indique

Fig. 44.-



Variation du poids avec l'âge
(d'après Quételet)

d'après Quételet, les variations de poids chez l'homme et chez la

femme. On voit par cette courbe, que le poids de l'homme augmente progressivement et de moins en moins vite, jusqu'à 40 ans passés, puis qu'il diminue ensuite lentement, à mesure que l'homme avance en âge. La courbe de la variation du poids chez la femme est d'ailleurs à peu près identique, cependant, remarque Quételet, la femme parvient au sommet de son poids plus tard que l'homme, et lorsque l'homme et la femme ont pris leur développement complet, ils pèsent à peu près exactement vingt fois autant qu'au moment de la naissance.

Les poids indiqués sur les courbes provenant du travail de Quételet, sont les poids moyens trouvés à Bruxelles par cet auteur en 1830; on peut trouver de nombreuses exceptions à ces poids moyens, et je ne vous citerai pas ici tous les poids phénomènes, presque invraisemblables, qui ont été cités. La plupart de ces poids ont été prix chez des sujets à surcharge graisseuse énorme et d'ordre pathologique; il me paraît plus important de vous signaler les nombreuses causes d'erreurs que vous pourrez rencontrer dans la pratique des pesées des malades, aujourd'hui si importante.

Causes d'erreurs dans les pesées.- Ces causes d'erreurs peuvent être divisées en deux catégories: celles qui tendent à augmenter le poids vrai, ce sont les causes d'erreurs en plus, et celles qui tendent à le diminuer, ce sont les causes d'erreurs en moins. Les causes d'erreurs en plus peuvent venir de ce que, immédiatement avant la pesée, le malade a ingéré des aliments, ou même fait un repas complet, et de ce chef la cause d'erreurs peut être considérable. Bien qu'on ne puisse pas déterminer même à peu près exactement le

poids d'un repas, je vous citerai cependant les quelques chiffres que j'ai trouvés des repas pris par un homme moyen pesant 70 Kilog., pour vous donner une idée de la valeur des erreurs provenant de cette cause. Le poids moyen du petit déjeuner, chez ce sujet, consistant en tasses de thé, de café, de café au lait, chocolat, avec tartines de pain plus ou moins volumineuses, a varié de 150 à 350 grammes; le poids du deuxième déjeuner fait en moyenne 4 heures après le premier, a varié entre 450 et 700 grammes; enfin, le poids du dîner qui, chez ce sujet, était le principal repas, a varié de 600à 1100 grammes. Les variations de ce dernier repas s'entendent pour un repas ordinaire, fait à la maison, et non des repas dits "dîners en ville" dont le poids moyen a pu varier de 1000 à 1350 grammes.

Ces chiffres indiquent qu'il est nécessaire de s'enquérir, avant de procéder à toute mesure du poids, de l'état dans lequel le malade se trouve, au point de vue des aliments ingérés.

Une autre cause d'erreur est celle résultant de la tare à faire des vêtements portés par le sujet au moment de l'expérience. C'est là une cause d'erreur dont l'importance est souvent mal appréciée; les chiffres suivants vont vous indiquer la vérité de cette affirmation:

Le vêtement d'intérieur, pour un homme moyen, consistant en:

Une chemise de coton, un caleçon, un pantalon, des chaussettes, des pantoufles d'intérieur et un veston, a atteint le poids de 2 Kilog. 500.

Le vêtement de ville, pour le même sujet, consistant en:

Souliers, chaussettes, caleçon, chemise, pantalon, gilet, redingote et chapeau, a atteint le poids de 3 Kil. 600. Avec un pardessus d'été le poids a augmenté de 1200 grammes; avec un pardessus d'hiver, pas très long, le poids a augmenté de deux kilog.

Lorsqu'il s'agit de vêtements de femme, les variations sont encore plus considérables et il n'est guère possible de donner un poids moyen des vêtements, tellement ce poids est variable, un seul d'entr'eux pouvant quelquefois atteindre le poids de 2 Kil. 500 (mantelet de fourrure.)

Ces chiffres, bien que peu nombreux, sont suffisants pour révéler dans l'évaluation du poids des vêtements une cause d'erreur difficile à éviter.

Parmi les causes qui font varier le poids des sujets à peser en le diminuant, il faut noter en première ligne les évacuations alvines et les mictions. Les évacuations alvines varient considérablement en poids, cependant chez un homme à la ration d'entretien et d'un poids moyen de 70 Kil. les variations ordinaires ont lieu entre le poids de 250 grammes et celui de 450. Quant aux mictions, encore plus variables peut-être, on peut cependant noter qu'elles peuvent faire diminuer le poids de 150 à 400 grammes.

Enfin, le poids de l'homme diminue d'une façon constante, tant par l'évaporation de l'eau à la surface de sa peau et à la surface ~~cutanée~~ pulmonaire, que par la production d'acide carbonique rejeté par la respiration. Ici encore, il n'est guère possible de donner des

chiffres ne variant que dans des limites peu étendues. Au contraire, il n'est pas de fonction dont l'activité s'accroisse ou diminue plus vite que celle de la transpiration. L'état de repos ou de mouvement, l'état hygrométrique de l'air, sa température, la température propre du sujet sont autant de circonstances qui influent énormément sur la perte de poids due aux causes signalées plus haut. Cependant, les chiffres suivants ont été relevés sur le sujet en question et dans différentes conditions: Pendant une nuit de huit heures de repos au lit, la perte de poids a varié de 350 grammes à 740. Pendant la journée et entre les repas de midi et de 7 heures 1/2, la perte de poids a varié entre 250 & 400 grammes. Le sujet conservait un repos relatif pendant cet intervalle de temps. Lorsque, au contraire, il était soumis à un exercice en plein air, assez actif, la perte de poids pendant le même temps, pouvait atteindre de 7 à 900 grammes, et même dépasser ce chiffre, si le temps était très sec.

J'ai pu faire sur un cycliste tournant sur une piste de Vélodrome, une expérience qui montre combien la perte par l'évaporation cutanée et pulmonaire peut s'accroître dans certaines conditions. Ce cycliste, d'un poids moyen de 73 Kilog. a perdu dans une heure le poids énorme de 1130 grammes; la température était assez élevée, et l'état hygrométrique faible.

En résumé, vous voyez par le nombre et l'importance de ces causes d'erreur combien une variation de poids de 500, de 1 Kil. et même de 1500 gr. est sujette à caution; lorsqu'on doit évaluer d'une

manière régulière le poids d'un sujet, il est nécessaire d'avoir en mémoire toutes les causes d'erreurs auxquelles l'on s'expose, pour essayer de les éviter le mieux possible. Pour cela, le moyen le plus sûr me paraît être de déterminer le poids minimum du dit sujet, c'est-à-dire celui qu'il a le matin, au réveil, nu, après miction et défécation et avant tout repas. On a ainsi des poids suffisamment comparables pour pouvoir tirer de ces variations, surtout lorsqu'elles dépassent le chiffre de 200 grammes, des déductions pathologiques ou physiologiques légitimes.

La variation du poids dans les malades, est d'une importance considérable, et il serait à désirer que l'on pût se rendre compte constamment au lit du malade, de sa variation de poids. Ces variations sont parfois énormes, surtout au moment de la convalescence, et j'en citerai comme exemple la preuve suivante, tirée d'une observation de fièvre typhoide, dans la thèse d'un élève de Monneret, M. Thomas Layton (Paris 1868). On y voit que la moyenne du gain par jour a atteint le chiffre énorme de 441 grammes 6.-

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

7me Leçon

MESURE DU VOLUME, DE LA DENSITE MOYENNE ET DE LA SURFACE DU CORPS

Mesures géométriques.- Application du principe d'Archimède.- Utilisation du compteur d'eau.- Densité.- Utilité de cette détermination.- Surface.- Importance de la surface du corps.- Coefficient de Bouchard.- Procédés de mesure.- Procédé de Bouchard.- Procédé du maillot de sparadrap.-

---

Mesure du volume.- La mesure du volume du corps de l'homme a rarement été faite, et cependant elle nous paraît intéressante à connaître, d'abord en elle-même, et ensuite à cause de la détermination de la densité moyenne du corps, pour laquelle la connaissance du volume est indispensable.

Les méthodes qui servent à la détermination des volumes des corps, en général, ne sont pas très nombreuses; celles qui peuvent être employées se divisent en méthodes géométriques et méthodes d'expérience. Les méthodes géométriques reposent sur l'emploi de formules tirées de la géométrie à trois dimensions, et appliquées à des corps de forme régulière. Ainsi, on détermine facilement le volume d'une sphère, d'un cylindre, d'un tronc de cône, etc.

Ces méthodes sont-elles applicables à l'homme ou aux

animaux? Nous pensons qu'il est fort difficile de comparer le corps de l'homme ou des animaux à un solide de forme géométrique régulière. Cependant, dans certains cas, la chose a pu être faite avec une certaine approximation. C'est ainsi que le professeur Ch. Richet a pu comparer la forme du corps du lapin au repos et replié sur lui-même, à une sphère, et cuber son volume, mesurer sa surface au moyen des formules qui donnent le volume et la surface d'une sphère dont on connaît le rayon. Mais, à part ce cas exceptionnel, et pour ce qui concerne le corps de l'homme, on ne peut pas accepter l'approximation qui assimile son volume à celui par exemple de deux troncs de cône réunis par leur petite base.

Il faut donc en venir à la détermination du corps de l'homme au moyen des méthodes expérimentales. Je ne citerai que pour mémoire la méthode du Voluménomètre, qui ne peut guère être utilisée, à cause des difficultés matérielles et physiologiques que l'on aurait à introduire le corps de l'homme vivant, dans un espace clos, et aussi des nombreuses corrections et erreurs contre lesquelles on devrait se prémunir.

La seule méthode de beaucoup la plus simple, que l'on peut utiliser est celle de la détermination des volumes, d'après le principe d'Archimède. En plongeant en effet un sujet vivant dans un récipient rempli d'eau jusqu'à un trop-plein, le niveau de l'eau tendra à s'élever, et il s'écoulera par ce trop plein un volume d'eau égal au volume du corps qui aura été immergé; par conséquent, la mesure de ce volume-là ou sa pesée, fera connaître le poids cherché.

La réalisation expérimentale de cette mesure est simple et presque clinique, il suffit d'avoir à sa disposition une baignoire munie d'un trop-plein, et de recueillir l'eau écoulée. L'immersion dans la baignoire doit se faire progressivement, de plus, l'immersion de la tête doit se faire en dernier lieu, la respiration pouvant s'effectuer facilement, au moyen d'un tube de verre ou de caoutchouc partant de la bouche du sujet, et allant jusqu'au-dessus de la surface de l'eau.

Quant à la mesure de l'eau écoulée, il est un peu long d'en évaluer le volume; on peut la recueillir dans un grand récipient porté sur une bascule, et convenablement taré avant le début de l'expérience, la pesée trouvée ainsi à 50 grammes près, et en supposant l'eau à la densité de un, donne le volume avec une approximation suffisante.

Au lieu de mesurer le volume de l'eau écoulée ou d'en mesurer le poids, nous nous sommes servis d'un appareil moins encombrant, que l'on trouve aujourd'hui très-couramment dans l'industrie, je veux parler du compteur d'eau. Si l'on ajuste sur le trop-plein de la baignoire un compteur d'eau marchant avec une pression de quelques centimètres et dont le tuyau de déversement est à l'égout, on peut en effectuant deux lectures, l'une au début de l'immersion du sujet et l'autre à la fin, connaître exactement le volume de l'eau qui s'est écoulée. C'est évidemment là le procédé le plus simple, mais il est nécessaire de savoir quelle est la précision du compteur d'eau que l'on utilise.

Nous avons trouvé dans l'industrie, des compteurs sensibles au demi-litre et au quart de litre, mais une approximation plus grande est difficile à obtenir.

Mesure de la densité du corps.- La densité moyenne du corps de l'homme me paraît être aussi une coordonnée statique qu'il serait très-important de connaître, et dont les variations sont remplies d'enseignements pour le médecin; elle paraît indiquer avec une certaine approximation, quelle est la part relative des tissus les plus denses de l'organisme, et des tissus les plus légers; nous savons en effet que la densité des principaux tissus est la suivante:

Tableau des poids Spécifiques Moyens d'un certain nombre de tissus de l'organisme (d'après Imbert)

Tissu osseux	1,975
Tissu cutané	1,191
Tendon	1,125
Muscle	1,060
Cerveau	1,030
Graisse humaine	0,941

On voit d'après ce tableau dans lequel les tissus sont classés par ordre de densité croissante, que les tissus les plus importants par leur quantité, c'est-à-dire les os, les muscles et la graisse pourront faire varier beaucoup la densité moyenne du corps selon leur développement relatif. Nous laisserons intentionnellement de côté les tendons et les tissus nerveux qui ne peuvent guère influer sur la densité moyenne du corps.

La densité d'un sujet sera donc d'autant plus grands que les deux tissus, osseux et musculaire l'emporteront; elle sera d'autant plus faible, que le tissu graisseux prédominera. Or, d'après les anatomistes, chez l'homme moyen le vingtième du poids du corps est formé par la graisse, et l'homme moyen doit avoir une densité moyenne en rapport avec cette quantité de tissu graisseux. Si elle est dépassée, la densité diminuera et diminuera d'autant plus que la quantité de graisse sera plus grande. Il y aurait donc là un moyen de noter en chiffres le moment où commence l'obésité et où commence la maigreur, et aussi une notation des variations de ces deux états pathologiques. Peut-être même trouverait-on dans certaines diathèses particulières, le lymphatisme, la scrofule, et aussi pour certaines maladies, telles que le myxoedème, la maladie de Thomsen, la paralysie pseudo-hypertrophique, des densités pouvant éclairer le diagnostic et la marche de la maladie d'un jour nouveau.

Quoiqu'il en soit, la détermination de la densité moyenne a donné pour l'homme moyen le chiffre de: 1, 111. D'après des recherches, d'ailleurs encore peu nombreuses, nous avons trouvé nous-même le chiffre beaucoup plus faible de 1,055.

Mesure des surfaces.- L'importance de cette coordonnée statique de l'homme n'a de comparable que celle du poids, surtout depuis les très-récents travaux du professeur Ch. Bouchard, il est facile de le démontrer, au moyen des constatations suivantes: L'homme en effet, ainsi que l'animal homéotherme, produisent de l'énergie surtout sous deux formes, la forme travail mécanique, et la forme

chaleur. Mais, de ces deux formes celle qui se présente avec la quantité la plus considérable, est de beaucoup la forme chaleur, quelques chiffres peuvent le démontrer: Si nous prenons par exemple, un homme du poids de 70 kilogrammes, nous pouvons admettre, bien que le coefficient de production de chaleur soit un chiffre variable avec chaque individu (Voir: Mesures calorimétriques sur l'homme, par J. Bergonié et Ch. Sigalas, Société des Sciences Phys. et Nat. de Bordeaux, 19 décembre 1895), nous pouvons admettre, dis-je, qu'il produit une grande calorie par kilogramme et par heure, ce qui fait en 24 heures, à peu près 1680 calories produites.

D'autre part, si on fait le calcul des quantités de travail habituellement produites par un travailleur manuel ordinaire, l'on trouve que le chiffre que l'on peut raisonnablement fixer, chiffre plutôt un peu gros, oscille autour de 200.000 kilogrammètres par période de 24 heures. Ce chiffre comprenant non seulement le travail extérieur, mais aussi le travail du coeur, le travail nécessaire à la respiration, à la digestion, etc.. Or, si nous transformons en chaleur cette quantité de travail mécanique, en nous servant du coefficient mécanique de la chaleur fixé à 425, nous trouvons qu'à ces 200.000 kilogrammètres équivalent à peu près 470 grandes calories. Le rapprochement de ces deux chiffres, 1680 calories d'une part, et d'autre part 470 calories, qui évaluent les deux quantités d'énergie, en les réduisant à la même forme, produite par l'organisme de l'homme, l'une sous forme de travail mécanique, l'autre sous forme de chaleur, montre que cet organisme produit à

peu près quatre fois autant d'énergie, sous la forme chaleur, que sous la forme mécanique.

Si l'organisme est un aussi puissant producteur d'énergie calorifique, il doit, puisque sa température reste constante, en perdre une égale quantité. Or, comment se fait cette perte de chaleur? Elle se fait nécessairement au niveau de sa surface, et par conductibilité, par rayonnement, ou par évaporation des liquides. Or, la surface du corps de l'homme en contact avec le milieu extérieur est double, d'une part, la surface pulmonaire, d'autre part, la surface périphérique.

De ces deux surfaces, et bien que la surface pulmonaire ne soit pas négligeable, au point de vue des pertes de chaleur qui s'y produisent, nous ne considérerons ici que la surface périphérique; les pertes auxquelles elle donne lieu sont en effet beaucoup plus importantes.

La perte par conductibilité a lieu lorsque l'air passant à la surface de notre corps se renouvelle, emportant avec lui toute la chaleur dont il s'est chargé par ce contact. La perte par rayonnement s'effectue par toute la surface cutanée, vers les objets extérieurs, lorsque ceux-ci sont à une température moins élevée que la température du corps, ce qui est le plus souvent le cas. Enfin, l'évaporation des liquides à la surface s'effectue plus ou moins, et est pour ainsi dire, le régulateur de la température centrale, mais il y a toujours de ce chef, bien que la température centrale ne tende pas à s'élever, une perte constante, par le changement

d'état de la sueur à la surface de la peau. Or, ces trois phénomènes physiques qui, tous se passent à la surface cutanée de l'homme, et sont différents par leur nature, peuvent être rapprochés pour montrer combien est importante la connaissance de la surface du corps. En effet, c'est proportionnellement à cette surface que, toutes choses égales d'ailleurs, leur intensité s'accroît, c'est proportionnellement à elle que les pertes par conductibilité, par rayonnement et par évaporation à la surface, toutes les autres conditions restant les mêmes, s'effectuent. C'est donc, en somme, par la surface cutanée que les 4/5 à peu près de l'énergie totale produite par l'homme vivant sont dispersés, et l'on comprend par là quelle relation directe avec tous les phénomènes vitaux de l'organisme auront les variations de la surface du corps.

D'autre part, les excitations périphériques auxquelles la surface du corps est normalement soumise, telle que l'action du froid, de la chaleur, de la lumière, de la pression atmosphérique, de l'état hygrométrique, et même peut être de l'état électrique de l'atmosphère, en un mot, de tous les agents physiques, celles auxquelles M. le prof. Bouchard a donné récemment (1) le nom d'excitations "constitutionnelles", toutes ces excitations périphériques sont proportionnelles, sinon par leur grandeur ou leur intensité, au moins par leur quantité à la surface cutanée du corps.

---

(1) Sem. Méd. 17 Mars 1897.

Enfin, la connaissance de cette surface permettra d'évaluer un coefficient qui me paraît devoir être dans les études futures sur la nutrition, d'une fécondité exceptionnelle. Ce coefficient que l'on peut appeler coefficient de Bouchard, puisque c'est entièrement à cet auteur que sont dues les idées générales qui en font toute l'importance, ainsi que la détermination précise elle-même, ce coefficient de Bouchard dis-je, est le rapport entre l'albumine fixe, constituant la matière véritablement vivante et active de l'organisme et la surface totale du corps. Ce coefficient réunira dans le même rapport le poids de la substance véritablement active de tout l'être, et la surface qui lui est dévolue, pour dissiper l'énergie qu'elle produit. Suivant les variations de ce rapport et la prédominance d'un de ces termes sur l'autre, on pourra voir d'un seul coup si la production d'énergie l'emporte, ou si c'est au contraire, sa dissipation, ou bien enfin, si l'équilibre existe, le chiffre de l'équilibre ayant été déterminé une fois pour toutes.

Pour toutes ces considérations, il est important de déterminer avec une exactitude aussi grande que possible, la surface du corps de l'homme; on peut y arriver comme pour le volume, soit par le calcul, soit par l'expérience, mais les procédés géométriques sont ici passibles des mêmes objections que pour la détermination du volume; il faut donc recourir aux procédés de l'expérience, qui peuvent donner lieu d'ailleurs, à des formules empiriques que l'on n'aura qu'à appliquer, lorsqu'on aura déterminé au préalable

les coefficients qui peuvent y entrer (Formule de M. Bouchard).

Parmi les mesures expérimentales, je vous signalerai les deux procédés suivants, l'un appliqué par Mr le Professeur Ch. Bouchard, et l'autre appliqué par M. Sigalas et par nous-même, ici, dans le laboratoire. Le procédé de M. Bouchard consiste à tracer sur le corps même du sujet, une très-grande quantité de figures géométriques, assez petites, pour qu'on puisse les considérer comme planes, à déterminer la surface de chacune d'elles, par les moyens indiqués par la géométrie, et à en faire ensuite la somme. On trouve ainsi des surfaces dont l'approximation est d'autant plus grande que les mesures ont été plus précises, et que le nombre des petites surfaces mesurées a été plus grande Mais l'approximation est toujours par défaut, et l'on trouve toujours une surface plus petite que celle réellement à mesurer. En effet, le corps est assimilé à un polyèdre dont la surface est toujours moindre que la surface courbe qui l'enveloppe et lui est tangente aux angles.

Le procédé que nous avons employé ici même, est un peu différent en principe. Il consiste à revêtir la surface du corps à mesurer d'un maillot aussi collant que possible, dont on mesure ensuite la surface utilisée.

Après bien des tâtonnements ayant porté sur la matière dont devait être constitué le maillot, nous nous sommes arrêtés, M. le Docteur Sigalas et moi, à faire nos mesures au moyen du simple sparadrap des pharmaciens, choisi aussi inextensible que possible, et dont nous tapissions la surface du corps du sujet. La

surface de la pièce de sparadrap, mesurée avant l'expérience et après, permettait de connaître avec quelques corrections dont il est inutile d'indiquer ici le détail, la surface employée, et par conséquent, la surface du sujet que l'on se proposait de mesurer.

Cette méthode de mesure, à l'envers de celle mise en pratique par le professeur Bouchard, donne une approximation en excès, c'est-à-dire que l'on trouve toujours une surface plus grande que celle à mesurer. Il est facile de se rendre compte pourquoi. En effet, la lame métallique, malgré toute sa souplesse, gode sur certaines parties du corps, et se plisse quelque peu à d'autres, il n'est donc pas difficile d'avoir une erreur en excès dans la mesure.

Quoi qu'il en soit, les résultats donnés par M. Bouchard des surfaces mesurées par lui, sont les suivants:

Chez un homme normal, la surface du corps est de: 192 décimètres carrés à peu près; chez un homme obèse, elle peut monter jusqu'à 225, et chez un homme amaigri, descendre à 117 décimètres carrés.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

8me Leçon

ETUDE DES DIVERSES ATTITUDES NORMALES DE L'HOMME

Détermination du centre de gravité du corps.- Polygone de sustentation.- Principe d'équilibre.- Influence de la hauteur au-dessus du sol du centre de gravité sur la stabilité.- Influence de l'étendue du polygone.- Station debout symétrique.- Station hanchée.- Attitude assise et autres.-

Le corps de l'homme en contact avec le sol peut prendre des positions très-variées, que l'on nomme des attitudes; nous étudierons les principales, pouvant avoir un intérêt au point de vue médical.

Détermination du centre de gravité du corps.- Pour que l'étude de ces attitudes puisse être menée à bien, au point de vue mécanique, il faut tout d'abord connaître où est situé le point d'application de la résultante de toutes les actions de la pesanteur sur le corps de l'homme, c'est-à-dire le centre de gravité de ce corps.

Borelli le premier a déterminé le centre de gravité du corps dans la position droite symétrique, dite du soldat sans armes, c'est-à-dire le tronc et les jambes raidis, les bras fixés le

long du tronc. Il s'est servi pour cela de l'appareil très-simple figuré ci-dessus (Fig. 45), et consistant en une planche sur laquelle était étendu le sujet pouvant tourner autour d'un couteau, et constituant une balance folle. Le sujet était étendu de telle façon, qu'étant en équilibre, le plan vertical mené par l'arête du couteau, coupait son corps suivant un plan qui contenait forcément le centre de gravité. La même expérience pouvait être faite le corps placé en travers sur la planche, et le plan vertical mené par le couteau était le plan médian. L'intersection de ces deux plans menés par l'arête du couteau était une droite au milieu de laquelle, par raison de symétrie, on pouvait à peu près placer le centre de gravité du corps.

Fig. 45.-



Détermination du centre de gravité

Procédé de Borelli

On admet, d'après les recherches de Weber, que le centre de gravité du corps de l'homme, dans l'attitude raidie, les bras appliqués le long du tronc, est situé à un centimètre au-dessus du promontoire, c'est-à-dire de l'angle formé par la dernière vertèbre lombaire et le sacrum.

L'importance de ce point ne doit pas être exagérée, car, si au point de vue mécanique, pour les solides non articulés et difficilement déformables, le centre de gravité est d'une importance mécanique considérable, il n'en est pas de même pour le corps de

l'homme, corps pesant articulé et indéfiniment déformable. Or, avec chacune de ces déformations, varie la position du centre de gravité, et l'on peut dire que même la flexion de l'avant-bras sur le bras le déplace, à plus forte raison est-il déplacé dans les attitudes beaucoup plus différentes de celles où il a été déterminé par Borelli.

Fig. 46.-



Détermination de la ligne de gravité

Procédé de Richer

M. Richer a déterminé récemment ce qu'il appelle la ligne de gravité, c'est-à-dire la ligne verticale passant par le centre de gravité. Il a trouvé par un procédé ingénieux (Fig. 46) aidé de l'inscription photographique, que, dans la station droite, la ligne de gravité passe bien avant de l'articulation tibio-tarsienne, dans un plan transversal situé en avant de l'apophyse du cinquième métatarsien; prolongée en haut, cette ligne passe en avant du moignon de l'épaule et traverse le pavillon de l'oreille vers son milieu.

<u>Polygone de sustentation du corps.</u> - Le principe de mécanique qui régit l'équilibre d'un corps pesant en contact avec le sol, par un certain nombre de ses points, ce qui est le cas du corps de l'homme, nécessite la connaissance de ce que l'on a appelé le polygone de sustentation. Pour décrire ce polygone il est nécessaire de connaître tous les

points de contact du corps pesant avec le plan horizontal qui le soutient, de les réunir par une ligne brisée telle, qu'elle enferme tous les points de contact et qu'aucun de ses angles ne soit rentrant, en un mot, et par définition, le polygone de sustentation d'un corps pesant en contact avec le plan horizontal, c'est le polygone convexe et minimum qui renferme tous ses points de contact avec le sol.

Principe d'équilibre.- Nous pouvons énoncer maintenant le principe d'équilibre qui régit les corps pesants placés dans les conditions précédentes. Un corps pesant est en équilibre sur un plan horizontal lorsque la verticale menée par son centre de gravité tombe dans l'intérieur du polygone de sustentation de ce corps. Appliquons ce principe aux diverses attitudes que peut prendre le corps de l'homme. Tout d'abord, puisque la chute ne se produit pas dans ces diverses attitudes, il est certain que le principe de mécanique sus-énoncé est respecté, et quelle que soit l'attitude de l'homme, toujours la verticale menée par le centre de gravité du corps dans cette attitude, tombe dans le polygone de sustentation qui correspond à cette même attitude. Mais il y a dans cet état d'équilibre des différences, et la stabilité du corps peut être plus ou moins grande.- De quelles conditions dépendra cette stabilité?

Tout d'abord, nous voyons par une étude même superficielle, que la surface du polygone de sustentation ainsi que sa forme subiront des variations considérables. Depuis l'attitude du corps

que prend une danseuse reposant sur ses pointes, à celle que prend le corps dans le décubitus dorsal, nous aurons tous les polygones de sustentation intermédiaires, ceux que l'on peut déterminer dans les positions précédentes étant les extrêmes; on comprend que la stabilité doit varier dans des cas aussi divers. Cette stabilité peut être inversement mesurée par la somme des efforts musculaires que doit faire le sujet pour se maintenir en équilibre. En effet, des expériences bien connues nous apprennent que l'acide carbonique produit varie, de manière que sa production est maxima dans les attitudes où l'équilibre est difficile à conserver, tandis qu'elle est minimum dans celles où sa conservation ne nécessite aucun effort, tel que le décubitus dorsal.

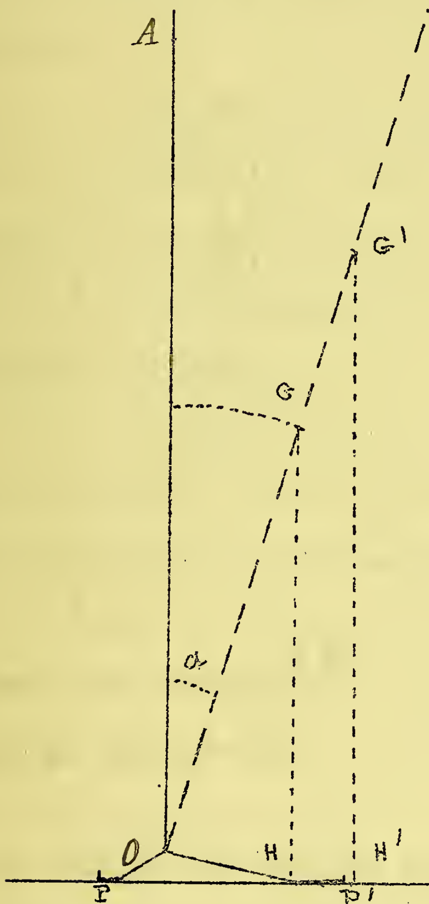
De ces considérations, il résulte que la stabilité du corps de l'homme, dans une attitude donnée, toutes choses égales d'ailleurs, sera d'autant plus grande que son polygone de sustentation dans cette attitude sera lui-même plus grand. D'après ce principe, la stabilité de la danseuse citée plus haut, sera très-petite, et la conservation de cette attitude fort pénible. Il en sera de même de celle du danseur sur la corde raide, surtout s'il ne se sert d'aucun corps pesant auxiliaire destiné à l'aider dans le déplacement de son centre de gravité.

Au contraire, la stabilité de l'homme assis ou couché, sera pour les mêmes raisons, considérable, et très-facile à maintenir longtemps.

Mais une autre condition influe sur la stabilité du corps de l'homme

de l'homme, c'est la hauteur du centre de gravité au-dessus du sol. Pour démontrer l'importance de cette hauteur, soit O A (Fig. 47) l'axe du corps pouvant tourner autour du point O qui représente

Fig. 47.-



Influence de la hauteur du centre de gravité sur la stabilité du corps.

l'articulation tibio-astragalienne, P P' représentant le plus grand diamètre du polygone de sustentation formé par les pieds; supposons que l'axe du corps s'incline de l'angle a sur la verticale. Si le centre de gravité est en G ,la verticale menée par ce centre viendra bien tomber en H dans l'intérieur du polygone de sustentation, et la condition d'équilibre sera remplie. Si, au contraire, le centre de gravité est en G' ,toutes les autres circonstances restant les mêmes, c'est en H' que viendra tomber la verticale menée par le centre de gravité hors du polygone de sustentation, et l'équilibre ne pourra pas être conservé. Il aura donc suffi, dans une même position du corps, que le centre de gravité soit élevé au-dessus du plan horizontal pour que la stabilité soit détruite, et nous pouvons conclure de là que la

stabilité du corps de l'homme sera d'autant plus grande que la hauteur du centre de gravité au-dessus du sol sera plus petite. En appliquant ce principe à diverses attitudes, on voit que dans la position de la danseuse sur ses pointes, le centre de gravité est pour

Fig. 48



Polygone de sustentation du tireur debout

Fig. 49.-



Polygone de sustentation du tireur à genou

ainsi dire à sa hauteur maxima, tandis qu'elle est minima dans le décubitus dorsal.

Il ne faut pas croire cependant, d'après ces deux exemples, que les conditions de stabilité maxima marchent toujours de pair. Il n'en est pas ainsi lorsque le tireur, pour avoir une stabilité plus grande, fléchit l'un des genoux, il n'augmente pas très sensiblement son polygone de sustentation, mais abaisse beaucoup son centre de gravité (Fig. 48 et 49).

A l'aide de ces quelques principes de mécanique, étudions les diverses attitudes l'homme et choisissons de préférence celles qui sont les plus communes; nous trouvons parmi celles-ci, l'attitude debout symétrique, ou station symétrique debout, l'attitude debout hanchée, ou station hanchée, l'attitude assise, enfin, le décubitus.

Station debout symétrique.- Elle est définie par le polygone de sustentation formé par le contact du corps avec le sol au niveau des deux plantes des pieds, par la situation verticale du corps, les bras appliqués le long du tronc, la tête droite, l'oeil dirigé à l'horizon.

Si nous examinons les forces qui interviennent dans la station debout, pour maintenir le corps en équilibre, nous trouvons que ces forces doivent empêcher le corps formé de segments articulés, de tourner autour de 4 axes passant l'un, vers l'articulation occipito-atloïdienne, le second, par les articulations coxo-fémorales, le troisième par les articulations des genoux, le quatrième enfin, par les articulations tibio-tarsiennes.

Les théories qui ont été mises en avant, pour expliquer la permanence de cette attitude et la non rotation des segments articulés autour des axes que nous venons d'indiquer, sont assez nombreuses. Tout d'abord, on a voulu donner aux muscles le rôle prépondérant, ce sont eux, d'après la théorie musculaire, qui par leur contraction, créent la force active s'opposant à la rotation. Mais le rôle capital des ligaments a été aussi soutenu, ainsi que celui de la disten-

sion élastique des muscles. Il nous semble qu'un sage éclectisme entre ces théories diverses, se rapprocherait davantage de la vérité. Tantôt, au niveau de certains axes, c'est la force active des muscles qui est prépondérante, tantôt, au niveau de certains autres, c'est la distension passive des ligaments qui intervient de préférence.

Au niveau de l'articulation atloido-axoidienne, la rotation de la tête en avant est certainement empêchée par la contraction, peu énergique d'ailleurs, à cause du faible bras de levier de la résistance, des muscles de la nuque.

Au niveau des articulations coxo-fémorales, le corps tend à tourner autour d'un axe horizontal dont les deux têtes fémorales forment les supports. S'il y a oscillation en avant, les masses musculaires des muscles fessiers s'opposent à cette rotation. Le rôle de ces muscles dans la station debout est d'ailleurs démontré par l'anatomie comparée; on trouve en effet qu'ils sont d'autant plus développés dans la série animale, que l'espèce chez laquelle on les examine a plus de propension à se tenir dans la station verticale (singes antrhopomorphes, kangourous, ours, etc), tandis qu'ils sont d'une importance secondaire chez les quadrupèdes conservant toujours leur position horizontale.

Si, au contraire, l'oscillation tend à se produire en arrière, le ligament de Bertin, et peut-être aussi, suivant Giraud-Teulon, la distension du psoasiliaque, et suivant Richer, celle du fascia lata, doivent être mises en cause.

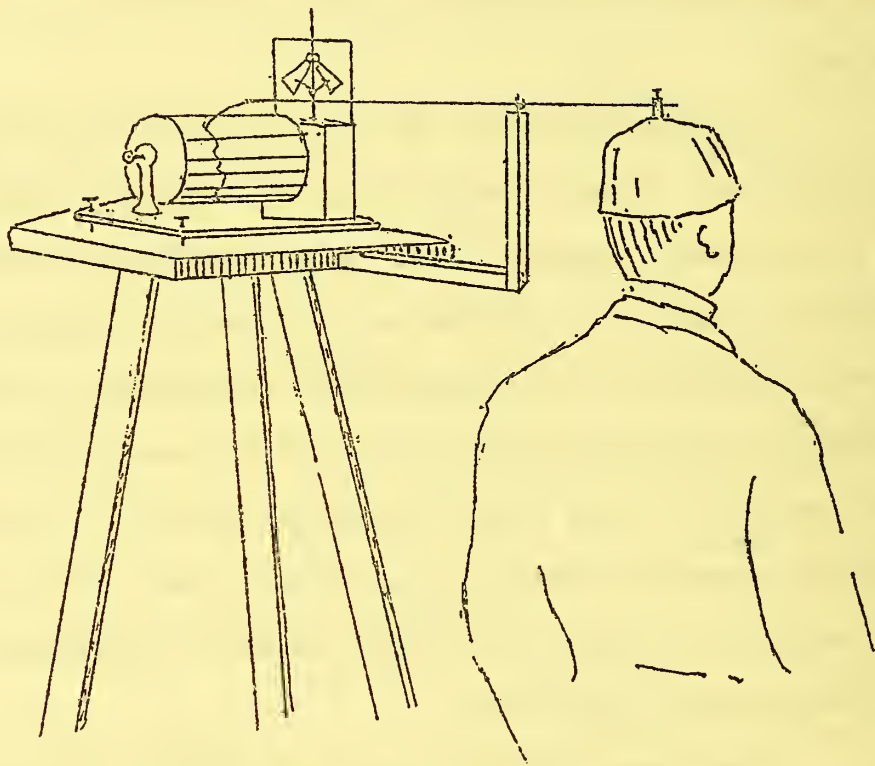
Au niveau des genoux, la rotation en avant est empêchée par la distension des ligaments articulaires et surtout des ligaments croisés qui réunissent en arrière les deux épiphyses. De plus, l'articulation est disposée de telle façon que la flexion en avant de la cuisse sur la jambe soit rendue impossible, mais pour la rotation en arrière, nous trouvons encore là toute prête, une masse musculaire considérable pour s'y opposer, c'est le triceps fémoral.

Enfin, au niveau de l'articulation tibio-astragalienne, le corps tout entier tend à tourner en avant, autour d'un troisième axe horizontal. Ainsi, c'est la contraction du muscle gastrocnémien ou triceps sural qui arrête la rotation et maintient l'équilibre. On voit que dans la station debout symétrique, le poids du corps reposant sur les deux pieds, des efforts musculaires ont lieu au niveau des quatre axes dont nous avons parlé et ces efforts musculaires sont assez considérables pour que dans cette attitude on trouve une quantité d'acide carbonique produite supérieure à celles produites dans toutes les autres.

Mais ces efforts musculaires sont intermittents, et l'on peut se rendre compte des oscillations que le corps effectue autour de sa position d'équilibre, en les inscrivant sur un cylindre enregistreur placé de la façon suivante: (Fig. 50) .Le sujet debout est coiffé d'une calotte métallique portant à son point culminant une tige en forme de fourche, entre les branches de laquelle vient se placer la tige d'un long levier inscripteur dont l'autre extrémité

porte le stylet frottant sur le cylindre. Si le sujet est placé la face tournée vers le cylindre enregistreur, ce sont les oscillations latérales qui sont inscrites; si au contraire, il est tour

Fig. 50.-



Appareil destiné à inscrire les oscillations antero postérieures de l'homme debout

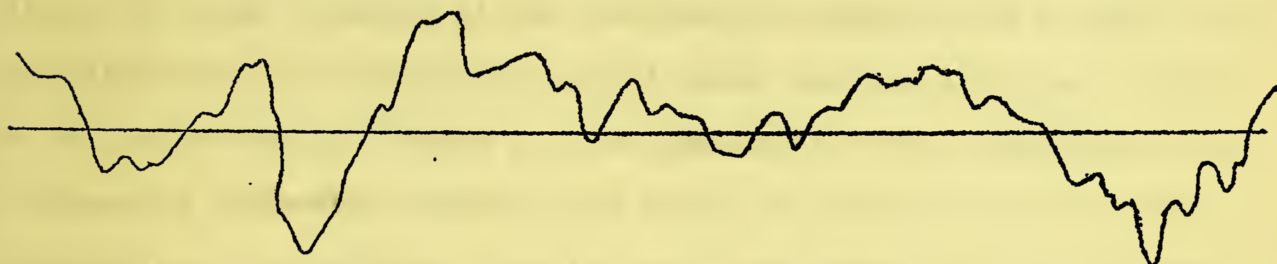
né comme dans la fig. 50, ce sont les oscillations dans le plan antéro-postérieur qui s'inscrivent. Nous avons pu constater

(Fig. 5I.-) que ces oscillations sont plus étendues dans le sens antéro-postérieur, plus étendues également, lorsqu'on fait fermer les yeux au sujet en expérience. L'on sait d'autre part, que lorsque le sens musculaire du sujet a subi une diminution pathologique,

Fig. 5I.-

Taille du sujet : $1^{m}63$

Oscillations latérales



Oscillations dans un plan antero-postérieur

ou lorsque la coordination motrice n'est pas intacte chez lui (ataxie locomotrice), il y a également une augmentation énorme de ces oscillations. Il est probable que l'on trouverait la même augmentation de leur amplitude dans la maladie de Marie au début (astasie-

abasie) et dans un grand nombre d'autres maladies du système nerveux.

Station hanchée.- Lorsque la station se prolonge, les contractions musculaires intermittentes dont nous avons parlé, amènent la fatigue dans les muscles qui en sont le siège, aussi, l'homme prend-il plus facilement dans ce cas, une autre attitude dite station symétrique ou hanchée.

Dans la station hanchée, le poids du corps repose sur une seule jambe, le tronc est cambré de façon que la verticale menée par le centre de gravité vienne tomber dans la trace du pied soutenant le corps. La cuisse est à son maximum d'extension sur le bassin, et la jambe à son maximum d'extension sur la cuisse. Dans ces conditions, le corps ne peut guère tourner qu'autour de l'articulation tibio-tarsienne. Pour l'en empêcher, le membre inférieur qui est au repos, se porte un peu en avant et s'écarte légèrement du membre soutien, et dans cette position oblique, empêche les oscillations en avant et en dehors. La fatigue est très lente à se produire, car la contraction musculaire n'intervient pour ainsi dire pas, ce sont les ligaments péri-articulaires et antéro-articulaires qui travaillent par leur élasticité; si cependant, à la longue, elle arrive à se produire, l'homme prend la même attitude sur l'autre membre, la jambe portante est mise au repos, et réciproquement. A cause du peu de travail musculaire que nécessite la station hanchée, et à cause de l'utilisation temporaire et alternative de chacun des membres inférieurs, la station hanchée est celle que l'homme prend le plus habituellement, lorsqu'il est obligé de se tenir debout.

Elle a été très-complètement étudiée, tant au point de vue physiologique qu'au point de vue artistique, dans le livre de M. Richer (Physiologie artistique.- Paris, O. Doin, 1895), et je ne peux que vous renvoyer à ce très-beau livre, pour des renseignements complémentaires (Fig. 52.-

Fig. 52.-

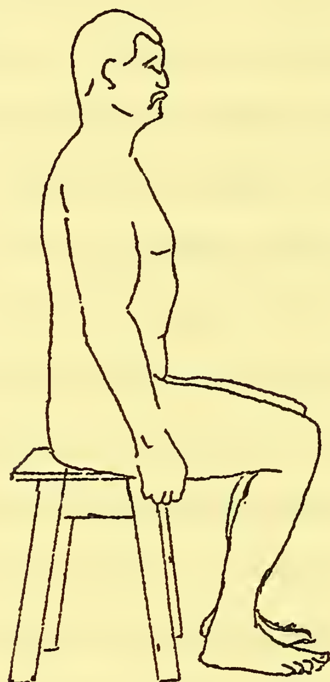


Station hanchée d'après Richer

Attitude assise et autres.- Les autres attitudes que peut affecter le corps de l'homme sont, comme nous l'avons vu, en nombre indéfini. Dans l'attitude assise, sur un siège suffisamment large, tel qu'une chaise, les deux pieds sont posés en même temps sur le sol, la base de sustentation du corps est suffisamment étendue, de plus, le centre de gravité est assez peu élevé au-dessus du siège pour que le degré de stabilité soit considérable; les efforts musculaires n'interviennent que pour maintenir la tête droite, aussi la quantité d'acide carbonique produit dans cette attitude est beaucoup moindre que dans la station debout. La chute en avant est presque impossible, elle est fort difficile sur

les côtés, mais plus facile en arrière, où le polygone de sustentation est moins étendu. D'ailleurs, cette position peut revêtir diverses variétés très-nombreuses dans lesquelles la stabilité est plus ou moins grande (Fig. 53).

Fig. 53.-



Station assise le corps droit

d'après Richer

Dans le décubitus dorsal, les conditions les meilleures de stabilité du corps de l'homme sont réunies, car, d'une part, le polygone de sustentation présente sa surface maxima, et la hauteur du centre de gravité au-dessus du plan horizontal est minima. C'est la position de repos par excellence, c'est dans cette attitude que la production d'acide carbonique est la plus petite, et que les contractions musculaires par conséquent, sont les plus faibles, pouvant même être nulles.

C'est donc cette position du décubitus dorsal ou toute autre s'en rapprochant autant que possible, que l'on devra prescrire au malade dont on veut économiser les forces, diminuer les combustions, par la diminution de travail musculaire, et procurer le repos le plus complet.

Dans cette position cependant, si l'homme est en contact avec un plan résistant, la fatigue peut survenir, causée par une pression exagérée en des points bien limités du corps. Ces points bien limités, par lesquels le corps de l'homme couché est en contact avec le plan horizontal qui le soutient, sont au nombre de 8 principaux, dont la trace peut être relevée facilement par une expérience simple. On trouve que le corps porte sur les talons, les fesses, le sacrum, les épaules et la bosse occipitale. C'est sur ces sept ou huit points que se répartit la pression totale du poids du corps. L'étendue des points de contact est relativement faible au niveau des talons, du sacrum et des fesses; elle est relativement beaucoup plus grande au niveau des épaules. Ceci permet d'expliquer pourquoi dans les maladies nécessitant la permanence de cette attitude, coincidant avec un mauvais état général, on voit se former des eschares au niveau des points indiqués plus haut. La pression provenant de la pesanteur empêche une nutrition déjà insuffisante des points comprimés, d'où sphacèle de ces parties et eschares consécutives. Le moyen de les éviter est donné encore par des considérations d'ordre mécanique; il sera nécessaire dans la plupart des cas, d'augmenter autant que possible l'étendue des points de contact du corps avec le plan de soutien, de façon à répartir la pression sur une aussi grande surface que possible, pour en diminuer l'intensité par unité de surface. On y arrivera en se servant de matelas élastiques formés par exemple d'un tissu de caoutchouc rempli d'eau ou d'air, et épousant aussi exactement que possible la forme du corps.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

9me Leçon

DES ATTITUDES ANORMALES DE L'HOMME

Courbures normales de la colonne vertébrale.- Mécanisme des attitudes anormales.- Adjonction d'une masse pesante.- Influence de sa distance à l'axe.- Déformations de la colonne vertébrale.- Déplacement de compensation.-

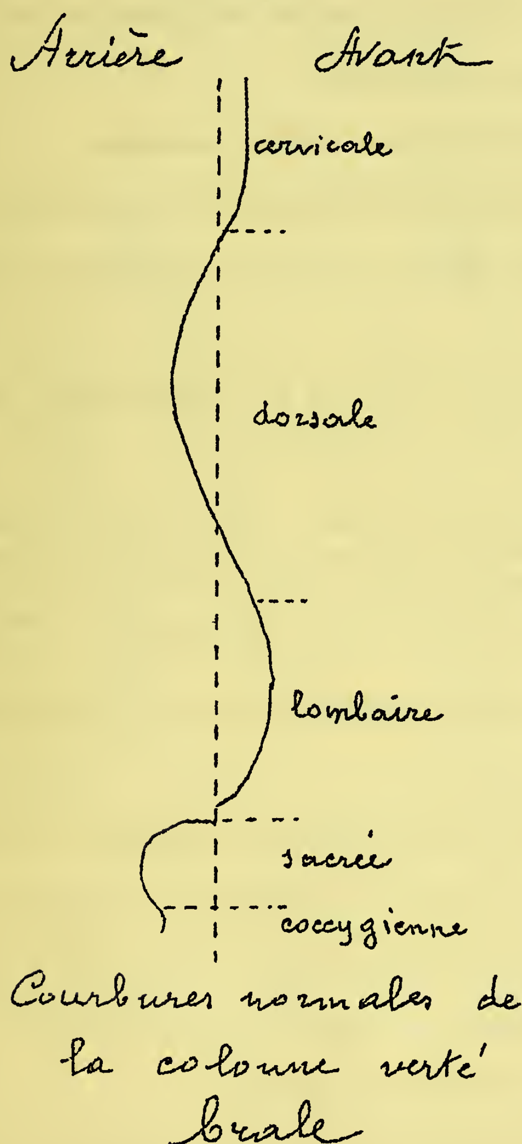
Quelle que soit l'attitude de l'homme normal, qu'il soit debout, assis, couché, etc, chacune de ces attitudes donne à son corps une forme correspondante dont l'homme bien conformé ne s'écarte jamais beaucoup. Si la structure du corps est vicieuse au contraire, il y a des modifications dans le mécanisme de ces attitudes qui deviennent alors anormales. L'action de la pesanteur dans les attitudes anormales du corps de l'homme, est la cause prépondérante; à cette action s'oppose constamment la rigidité du squelette, et c'est grâce à cette rigidité que la pesanteur ne se produit pas dans le corps de l'homme un affaissement complet sur le sol.

Mais, parmi les pièces du squelette, la partie la plus importante au point de vue de la lutte contre l'action de la pesanteur, c'est la colonne vertébrale ou rachis.

La colonne vertébrale, bien que parfaitement rigide chez

l'homme normal, dans le sens vertical, présente une certaine élasticité due non-seulement aux disques inter-vertébraux, mais encore aux courbures normales qu'elle présente. Si l'on considère en effet la colonne vertébrale et la ligne de gravité, c'est-à-dire la verticale menée par le centre de gravité du corps (au niveau du promontoire), on constate des courbures de la colonne vertébrale, situées de part et d'autre de cette ligne de gravité. Ainsi (Fig. 54), du côté antérieur, on trouve au niveau de la colonne cervicale, une convexité; au niveau de la colonne dorsale, on trouve une concavité; au niveau de la colonne lombaire, encore une convexité, et enfin, au niveau du sacrum, une deuxième concavité.

Fig. 54



Courbures normales de la colonne vertébrale

Ces courbures ont certainement une grande utilité, car dans le choc qui se produit au contact du sol, lorsque le corps est animé d'une certaine vitesse, elles empêchent la réaction de se transmettre avec trop d'intensité

à l'organe très-sensible qui les surmonte, c'est-à-dire le cerveau.

Mécanisme de production des attitudes anormales.- Quelles que soient les attitudes anormales que l'on considère, elles sont toutes produites par un même mécanisme, c'est le déplacement du centre de gravité du corps. Or, le centre de gravité du corps ne peut être déplacé que de deux manières:

1°.- Par l'adjonction d'une masse pesante;

2°.- Par la distribution anormale des parties pesantes autour de la ligne de gravité que l'on peut considérer comme l'axe du corps;

Etudions chacune de ces causes du déplacement du centre de gravité.

Adjonction d'une masse pesante.- La masse pesante, ajoutée au corps peut être d'origine organique, pathologique ou physiologique (tumeur, grossesse); dans ce cas, l'attitude anormale qui en résulte peut être de longue durée et produire des déformations osseuses, permanentes ou temporaires.

Si la masse pesante ajoutée est un fardeau, l'attitude anormale prise par l'homme ne dure que pendant le port de ce fardeau, mais, dans les deux cas, la condition d'équilibre doit toujours être remplie, c'est-à-dire la ligne de gravité doit tomber dans l'intérieur du polygone de sustentation.

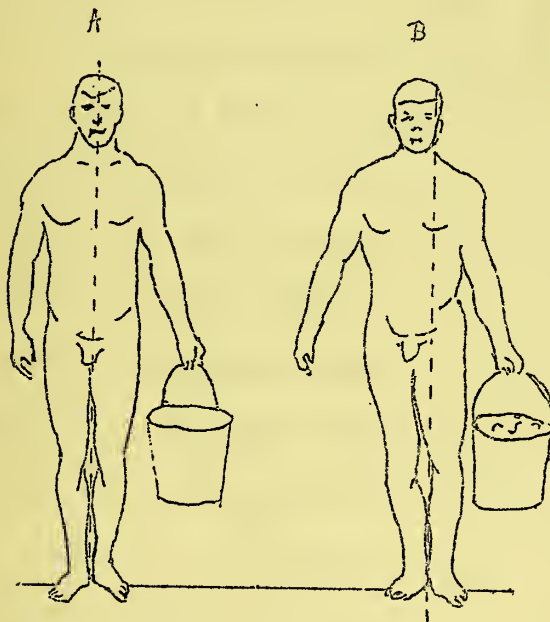
Comment agit la masse pesante, quelle qu'elle soit, pour modifier l'attitude normale de l'homme? Son action peut être divisée en deux parties:

1°.- Elle agit par sa masse

2°.- Par sa situation

Plus la masse pesante sera grande, plus l'attitude sera anormale. Cette loi peut être démontrée soit expérimentalement, soit par des exemples; ainsi l'homme qui porte à l'extrémité de l'un de ses bras, un seau vide, prend une attitude de plus en plus anormale, à mesure que l'on remplit le seau, c'est-à-dire à mesure que la masse pesante s'accroît (Fig. 55), encore, dans cet exemple, l'attitude vicieuse est-elle diminuée par l'écart du bras opposé.

Fig. 55.-



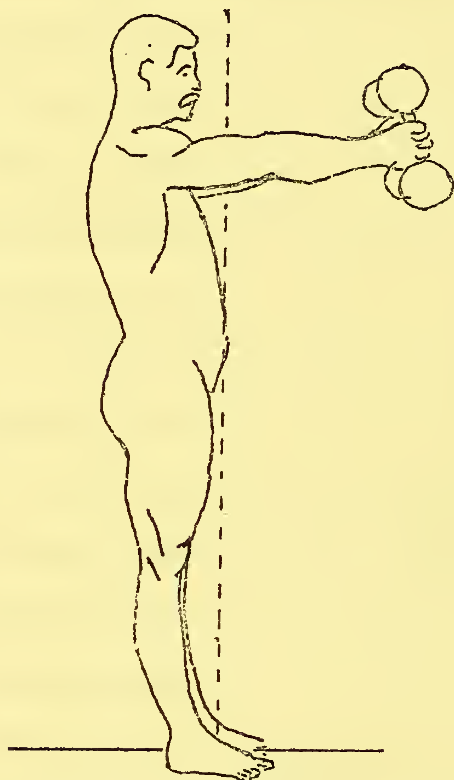
Station droite avec charge latérale
d'après Richer

En A le sceau est vide
En B le sceau est plein

L'action de la masse pesante sera, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus grande, que sa distance à la ligne de gravité sera elle-même plus grande. Ainsi, l'homme portant des altères, les bras tombant verticalement le long du corps, a une attitude presque normale, sinon tout à fait normale. Au contraire, (Fig. 56), s'il les élève et

s'il tient les bras horizontalement, son attitude devient très-anormale. L'attitude de la femme qui porte une cruche sur la tête est à peu près normale; au contraire, si la même cruche est portée sur la hanche, l'attitude est anormale. C'est pour cette raison que les lourds fardeaux sont portés instinctivement dans des points aussi rapprochés que possible de la ligne de gravité. Ainsi les porte-pièces dans les chantiers de construction, portent les lourdes pierres sur la nuque; le sac du soldat devant effectuer une longue marche, doit être aussi plat que possible et contenir les objets pesants sur la paroi du sac accolée à l'épaule. On pourrait citer d'autres exemples où l'observation de ce principe est tout aussi évidente.

Fig. 56.-



Station droite avec charge en avant d'après Richer

Deux masses égales symétriques ne déforment que très-peu l'attitude, car on peut les remplacer par une résultante passant par la ligne de gravité; il en est de même d'un certain nombre de masses disposées de telle façon qu'elles puissent être remplacées aussi par une résultante semblable.

Si la masse ajoutée au corps est une masse organique, pathologique ou physiologique, les mêmes lois s'appliquent de la même façon. Ainsi, la déviation produite est nulle ou à peu près, pour un anévrisme même volumineux, de la crosse de l'aorte; elle est peu considérable pour un épanchement pleurétique, tandis que au contraire, elle peut être très-grande, pour un lipôme volumineux des fesses, un fibrome, ou dans la grossesse avancée.

~~Non-seulement~~ l'addition d'une masse organique peut modifier l'attitude, mais encore la soustraction d'une semblable masse; ainsi par exemple, les amputés d'un bras ont une attitude di-symétrique; la lordose de la femme enceinte cesse après l'accouchement.

La distribution anormale des parties pesantes autour de la ligne de gravité cause des attitudes anormales beaucoup plus fréquentes, et surtout d'une durée plus longue, puisque souvent la modification du squelette est définitive, ainsi que l'attitude vicieuse. Presque toutes les masses pesantes sont comme appendues à la colonne vertébrale qui en est le soutien; si le soutien est déformé, les parties pesantes seront distribuées d'une façon anormale et l'attitude deviendra vicieuse, l'équilibre pourra même, dans certains cas extrêmes, être définitivement rompu. Donc, la plupart des attitudes anormales de cette seconde catégorie sont causées par une déformation de la colonne vertébrale.

Mais, toutes ne pourront être rapportées à cette déformation primitive du rachis; il en est d'autres dans lesquelles la déformation de la colonne-soutien n'intervient que secondairement.

La cause première est le déplacement des organes, le relâchement de leur moyen de contention ou de suspension au rachis. Ainsi, par exemple, dans la lordose consécutive à la paralysie des muscles de l'abdomen, de Duchenne (Fig. 57).

Fig. 57.-



Lordose paralytique des muscles de l'abdomen

d'après Duchenne de Boulogne

Nous avons vu plus haut quelles sont les courbures normales de la colonne de soutien; les courbures anormales ont reçu des noms en pathologie, qui sont les suivants: On appelle cyphose, les déviations antéro-postérieures du rachis, dans lesquelles la courbure a sa convexité tournée en arrière; on appelle lordose, les déviations antéro-postérieures dans lesquelles la convexité est tournée en avant. Enfin le terme de scoliose sert à désigner la déviation latérale du rachis.

Nous n'avons pas à considérer ici la cause de ces déviations, elles peuvent être congénitales, acquises ou pathologiques, peu nous importe, au point de vue mécanique, les résultats sont toujours les mêmes; nous considèrerons seulement les modifications dans l'attitude normale de l'homme, qui en sont la conséquence.

D'une manière générale, que la distribution anormale des parties pesantes soit causée par une déviation primitive du rachis ou que toute autre cause active interveinne, les mases pesantes organiques, muscles, viscères etc, ont été déplacées; l'équilibre du corps est compromis et ne pourrait être maintenu dans quelques cas, que par des efforts musculaires contraires au principe d'économie organique. Aussi, pour rétablir cet équilibre compromis, il se fait un déplacement en sens inverse, d'autres organes, d'autres parties du corps, c'est ce que l'on peut appeler <u>le déplacement de compensation</u>.

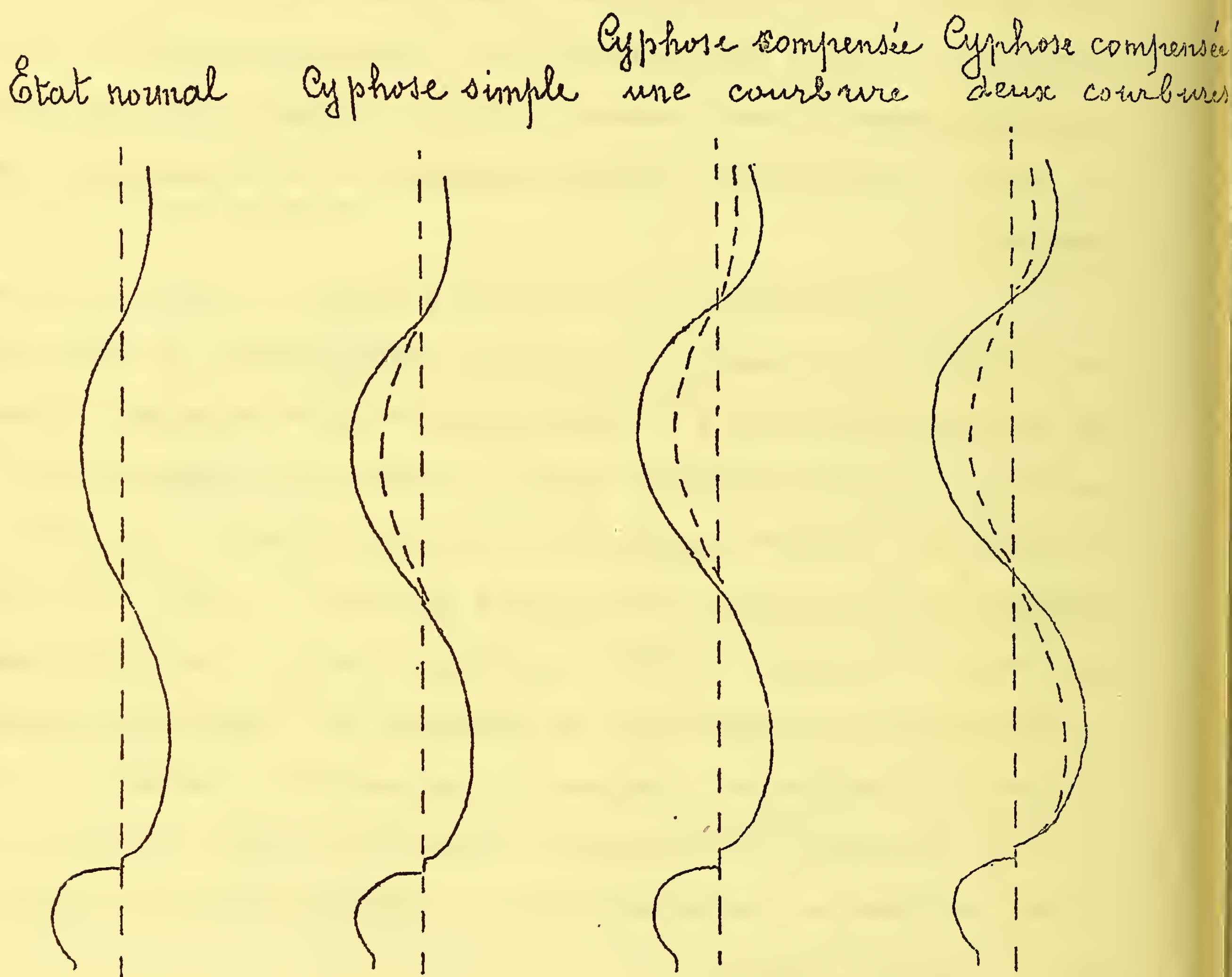
Ce déplacement peut porter suivant les cas, sur la colonne vertébrale, et alors il se produit une courbure de compensation au niveau des parties de cette colonne restées normales. Ainsi par exemple, d'après Kirmisson, dans la cyphose de l'adolescence, on observe une voussure exagérée de la région dorsale (Fig. 58), les épaules font en arrière une saillie anormale, la tête et le cou sont projetés à l'avant. Tantôt la colonne cervicale est directement portée en avant, tantôt elle se recourbe en formant une courbure à concavité postérieure, lordose de compensation; souvent, il s'ajoute à cette déformation une saillie anormale du ventre en avant, tenant à une courbure de compensation de la région lombaire en sens inverse de la courbure dorsale.

Mais, lorsque la cyphose est généralisée, c'est-à-dire lorsque la colonne vertébrale a été déformée de façon à projeter en avant tous les organes du thorax et de l'abdomen, aucune courbure

de compensation du rachis ne peut intervenir pour rétablir l'équilibre, alors le déplacement de compensation s'effectue sur les membres inférieurs, dans ce cas, les malades fléchissent les cuisses

Fig. 58.-

Cyphose de l'Adolèscence



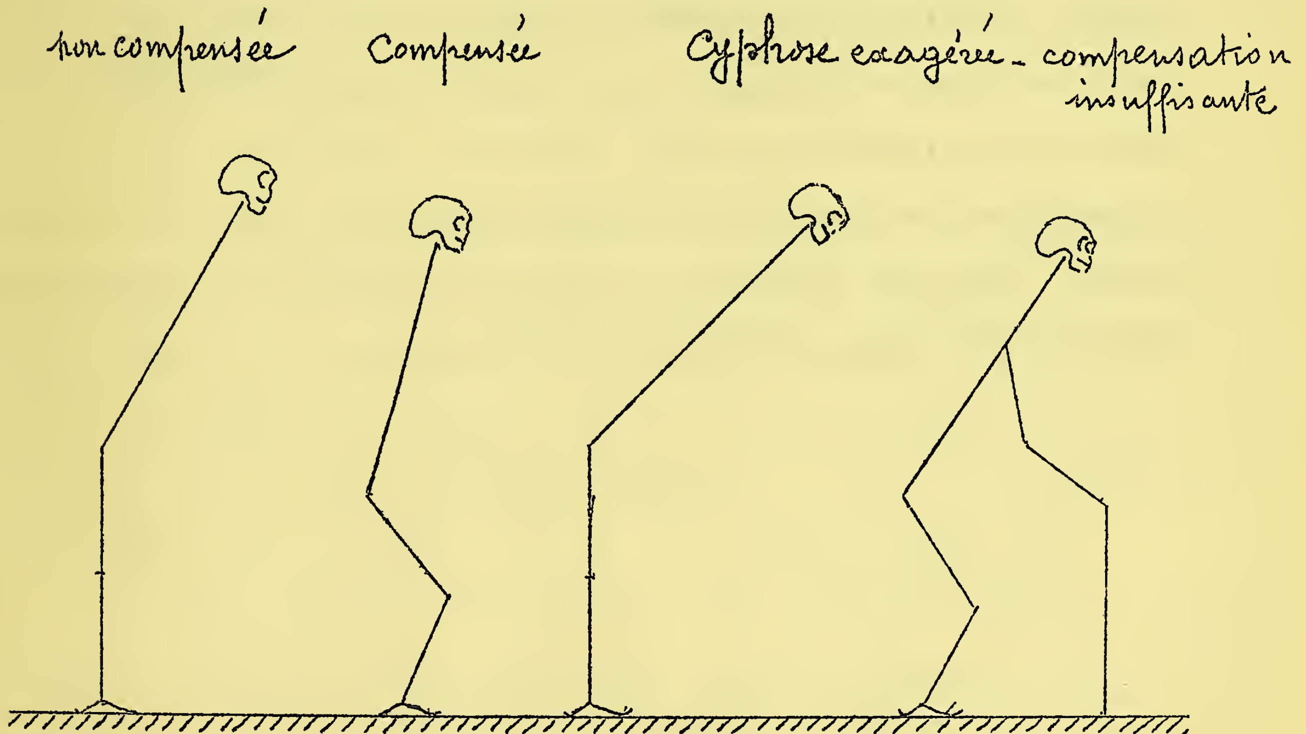
et les genoux avant de reporter le bassin en arrière et de rétablir l'équilibre, mais ce déplacement de compensation peut ne pas suffire

et l'équilibre ne peut plus être rétabli, alors le malade ne peut plus se tenir debout qu'à l'aide de bâtons (Fig. 59).

Ce déplacement de compensation pourrait aussi bien être démontré dans les cas de scoliose, c'est toujours le même mécanisme qui intervient.

Fig. 59.-

Cyphose généralisée.



Les déformations du thorax et du bassin, concomitantes des déformations du rachis, peuvent également être expliquées par la né-

nécessité d'une modification compensatrice et la tendance à la conservation de l'équilibre sans effort musculaire.

Mais, ce n'est pas seulement dans l'étiologie des déformations qui causent les attitudes anormales du corps de l'homme que les considérations mécaniques peuvent être utiles, elles le sont encore peut-être davantage, dans la recherche des moyens orthopédiques de prévention ou de guérison; il faut combattre par des moyens mécaniques la production des attitudes vicieuses chez les enfants, on y arrive en étudiant convenablement la hauteur du siège de l'écolier, l'inclinaison de son pupitre, la méthode de son écriture, etc.

Quant aux moyens curatifs, ils sont à peu près tous mécaniques; tantôt ils utilisent l'action de la pesanteur pour redresser la colonne vertébrale et la faire se rapprocher autant que possible de la ligne de gravité, tantôt ils substituent à l'action de la pesanteur des forces extérieures permettant d'arriver au même résultat, tels que: extension continue, lits et corsets orthopédiques, immobilisation dans appareils plâtrés etc.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

10e Leçon

E F F E T S   C I N E M A T I Q U E S   E T   D Y N A M I Q U E S

L O C O M O T I O N

Méthodes utilisées par Marey dans ses recherches de cinématique animale.- Méthode graphique de représentation et méthode graphique de recherche.- Principe de la méthode graphique.- Instruments qu'elle utilise.- Chronophotographie.- Principe de la chronophotographie sur plaque fixe.- Correctifs apportés par Marey à cette méthode.- Plaque mobile.- Synthèse des mouvements.-

L'action des muscles sur les leviers de l'organisme est non-seulement capable de produire des effets statiques, mais encore des effets de mouvement ou cinématiques. C'est ainsi que le corps de l'homme peut être déplacé sur le sol et prendre un mouvement de translation, avec des vitesses variables. C'est ce mouvement de translation au niveau du sol que l'on appelle locomotion.

La locomotion de l'homme a été étudiée d'abord par Borelli (De motu animalium, Lyon 1685) qui, dans un très-beau livre, a traité les principaux chapitres de la mécanique animale avec les données purement théoriques qu'il pouvait avoir à cette époque. Les frères

Weber vinrent ensuite et essayèrent de donner une théorie mécanique de la marche, mais ce n'est que de nos jours que le professeur Marey a pu asseoir cette étude sur des données expérimentales solides, et c'est grâce à ces études et aux méthodes dont il s'est servi, que ce chapitre de mécanique animale est arrivé presque à la perfection scientifique. Nous emprunterons presque tout ce qui va suivre aux études et aux livres de M. Marey.

Méthodes utilisées par Marey dans ses recherches de cinématique animale.- Les méthodes utilisées par Marey, dans ses études de cinématique animale, sont au nombre de deux:

1°.- La méthode graphique;

2°.- La chronophotographie.

C'est à lui que sont dues ces méthodes générales d'étude qui sont d'ailleurs applicables non seulement à la locomotion de l'homme, mai à la locomotion et aux mouvements de tous les animaux, et à tous les mouvements en général.

Méthode graphique.- Il ne faut pas confondre la méthode graphique de représentation des phénomènes connus depuis longtemps, avec la méthode graphique de recherche qui a surtout été utilisée par MM. Marey et Chauveau. Lorsqu'on veut représenter graphiquement un phénomène, il faut d'abord connaître les données numériques de ce phénomène. Soit par exemple à représenter les variations de la taille d'un individu en fonction du temps; pour cela, l'on commencera par mensurer cet individu à chacun de ses divers âges, et l'on établira ainsi deux colonnes de chiffres dans lesquelles à

chaque âge, correspond une mensuration; c'est l'établissement de ces deux colonnes de chiffres qui constitue, à proprement parler, la recherche scientifique.

Mais, la lecture de ces deux colonnes de chiffres ne représente pas évidemment à l'oeil la rapidité de la variation de la taille ou sa lenteur, aux divers âges de la vie. Pour arriver à une représentation frappante, on se sert alors d'un graphique dans lequel la taille étant portée en ordonnées, les divers âges sont portés en abcisses, et l'on trace ainsi une courbe qui peint alors clairement aux yeux le phénomène ou la série des phénomènes observés. On a employé là, la méthode graphique de représentation. Cette méthode graphique est utilisée d'une façon très-générale, aussi bien en statistique qu'en sciences économiques, qu'en médecine. La courbe des températures est une de ces applications que vous avez tous les jours sous les yeux.

Dans la méthode graphique d'exploration ou de recherche au contraire, la détermination scientifique résulte du tracé de la courbe, c'est elle qui est le premier élément de la connaissance du phénomène, et c'est d'elle que l'on déduit ensuite les chiffres qui se rapportent à la grandeur des diverses constantes de ce phénomène. Cette différence entre les deux méthodes, toutes les deux graphiques, me paraît importante à vous signaler, car l'une des deux méthodes n'est qu'un moyen de représentation plus simple et plus frappant d'une étude déjà faite; l'autre est elle-même un moyen d'étude. Si Marey s'est beaucoup servi de la première, comme de plus en plus on

tend à le faire dans toutes les sciences, il a pour ainsi dire introduit et généralisé l'emploi de la seconde dans les sciences biologiques; on peut dire que depuis ces travaux presque aucune recherche n'est faite sans l'emploi de la méthode graphique d'exploration.

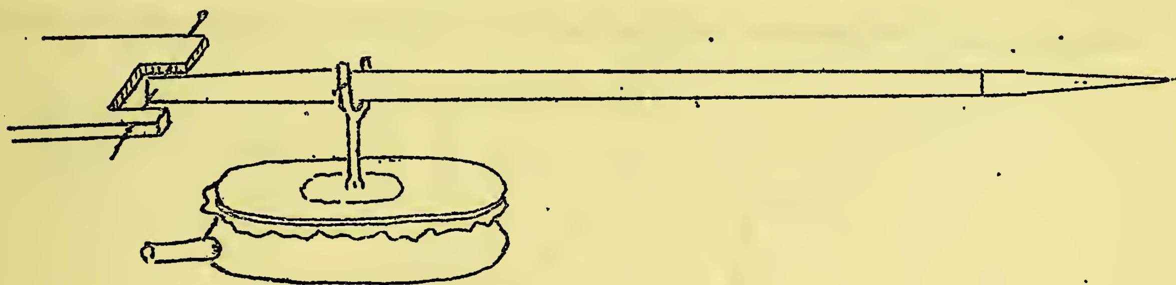
Principe de la méthode graphique.- On peut énoncer de la façon suivante le principe général sur lequel repose la méthode graphique: C'est utiliser une faible partie des forces mises en jeu par le phénomène lui-même, pour en inscrire au moyen d'instruments appropriés les diverses phases ou les divers éléments mécaniques, force ou pression, vitesse, trajectoire, etc.

Quelquefois, mais rarement, l'instrumentation nécessaire pour l'utilisation de la méthode graphique est on ne peut plus simple. Vous voyez ici un tracé qui nous a servi à déterminer la longueur du pas ordinaire chez un homme normal (voir la planche à la dernière leçon); il nous a suffi pour cela de faire marcher le sujet en expérience, pieds-nus, sur une bande de papier enfumé; l'homme a laissé la trace de ses pieds sur le papier, il n'y a eu aucun instrument utilisé. Au contraire, lorsque Marey a déterminé les vitesses des diverses allures de l'homme, il s'est servi d'une instrumentation très complexe en même temps que très ingénieuse, ayant nécessité la construction d'une piste circulaire de 500 mètres, l'établissement d'une ligne télégraphique autour de cette piste; enfin, la construction d'un appareil inscripteur particulier, l'odographe

Parmi tous les instruments utilisés par Marey, dans l'emploi de la méthode graphique à l'étude de la locomotion de l'homme, je ne vous parlerai que de quelques-uns qui m'ont paru les plus importants.

Le premier est le tambour à levier de Marey. Il se compose essentiellement d'une capsule métallique plate (Fig. 60) dont l'une des faces est fermée par une membrane de caoutchouc mince pouvant

Fig. 60.-



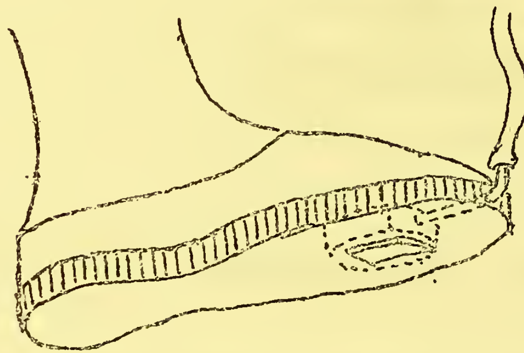
Tambour inscripteur de Marey.

facilement être déprimée ou gonflée par les variations de la pression de l'air enfermé dans la capsule. Le déplacement de cette membrane met en jeu, par le mécanisme du levier du troisième genre, un style très-léger chargé d'inscrire en les amplifiant, sur le cylindre ordinaire, les déplacements de la membrane. Sur l'un des côtés de la capsule, se trouve un tube métallique qui s'ouvre à son intérieur et sur lequel peut s'adapter le tuyau de caoutchouc. La disposition qui se prête, d'après Marey, à la plupart des expériences, consiste à employer deux tambours à leviers dits tambours conjugués, et

dont l'un reçoit le mouvement, tandis que l'autre le trace; le premier tambour prend le nom de tambour explorateur, l'autre est le tambour inscripteur. Ces deux tambours sont réunis par un tube commun de caoutchouc.

Un autre instrument ayant donné de bons résultats dans l'étude de la locomotion de l'homme, est la chaussure exploratrice de Marey, elle repose sur le même principe que le tambour à levier (Fig. 61); elle est formée d'une épaisse semelle de caoutchouc portée par une chaussure ordinaire, et creusée d'une cavité contenant

Fig. 61.-



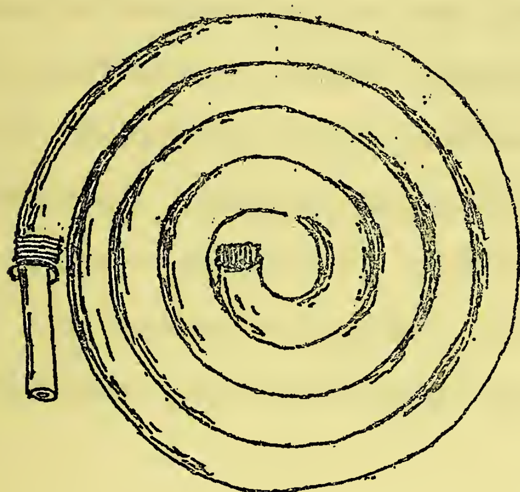
Chaussure exploratrice de Marey.

une petite boule de caoutchouc pouvant être comprimée à chaque appui du pied sur le sol; cette boule, réunie à un tube inscripteur, donne un tracé révélant chacune des phases du contact du pied avec le sol.

Un autre instrument a servi à Marey pour mesurer la pression aux divers moments de l'appui du pied pendant la marche, la course, le saut, etc; c'est son dynamographe inscripteur ou spirale

dynamographique. Il se ~~compose essentiellement~~ d'un tube de caoutchouc enroulé sous forme de spirale plate (Fig. 62.) et fermé à l'une de ses extrémités, tandis que l'autre communique avec le tambour inscripteur. Si l'on place un tel instrument sous une plateforme de bois, on pourra graduer expérimentalement au moyen de poids placés successivement sur la plateforme, les indications de l'instrument. La plateforme de bois pourra servir ensuite de point de passage, elle donnera les pressions exercées dans les divers actes de la locomotion.

Fig. 62.-



Dynamographe inscripteur de Marey

Il y aurait encore à vous citer un grand nombre d'instruments plus ingénieux les uns que les autres, mis en oeuvre par le professeur Marey, dans ses études de cinématique et de dynamique animale; j'ai tenu à vous décrire seulement ceux-ci, pour vous en montrer simplement l'originalité et la simplicité. Nous faisons ici devant vous, une application de la méthode graphique, au moyen de deux tambours conjugués (inscription du nombre des gouttes qui s'écoulent par un orifice capillaire); deux tambours ~~conjugués sont~~ utilisés.

Voici une reproduction simple de la spirale dynamographique

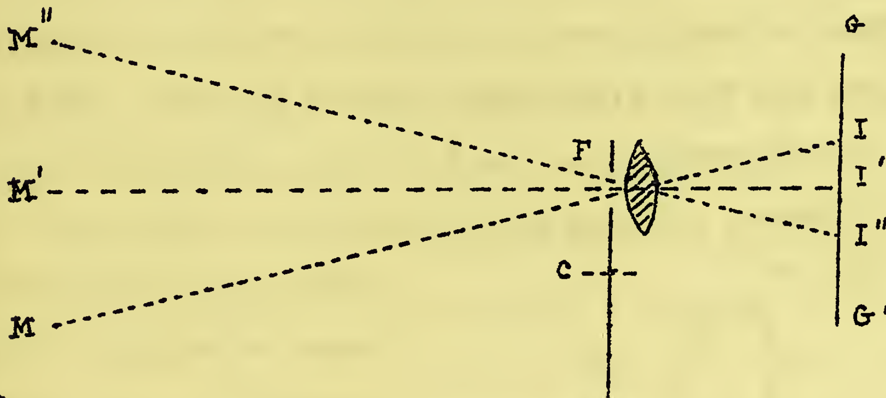
de Marey; vous voyez que les déplacements du style du levier inscripteur dépendent, suivant une certaine loi, des poids qui sont placés sur la plateforme.

Chronophotographie.- Malgré ces ingénieux instruments qu'utilise la méthode graphique, souvent l'inscription mécanique d'un phénomène n'est pas possible par leur intermédiaire. Il peut arriver en effet que la vitesse du mouvement soit telle, que la trajectoire du mobile soit si étendue, que les instruments utilisés d'ordinaire ne soient plus applicables. Enfin, quelquefois, les forces mises en jeu sont tellement petites, qu'on ne pourrait en soustraire même une faible partie destinée aux appareils inscripteurs, sans modifier sensiblement le phénomène. C'est pour ces cas que Marey a imaginé et appliqué une autre méthode ne nécessitant aucune liaison mécanique, supprimant toute cause d'inertie; cette méthode est la Chronophotographie.

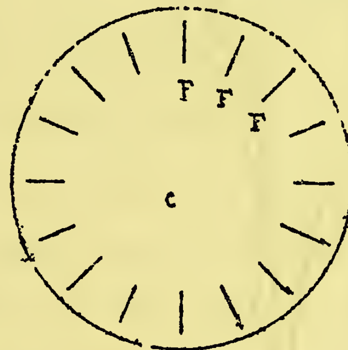
Le principe de la chronophotographie est le suivant: Supposons (Fig 63), un mobile M se déplaçant devant un objectif photographique O derrière lequel est une plaque sensible G G', et plaçons devant l'objectif photographique un obturateur rotatif pouvant tourner autour d'un axe placé en C .Si l'obturateur découvre pendant un temps très-court l'objectif photographique, une image I viendra se former sur la plaque sensible, et si le mobile M est suffisamment éclairé, la plaque sera impressionnée au point I l'obturateur, continuant sa rotation, recouvre l'objectif et le découvre ensuite de nouveau, car, à un espace plein a succédé l'une

des ~~fenêtres découpées~~ dans le disque de l'obturateur. Mais, pendant cet intervalle de temps, le mobile M est venu en M' et, lorsque l'objectif sera à ~~nouveau~~ découvert par l'obturateur, une nouvelle image I' viendra se former sur la plaque sensible. Le

Fig. 63.-



Principe de la chronophotographie sur plaque fixe.



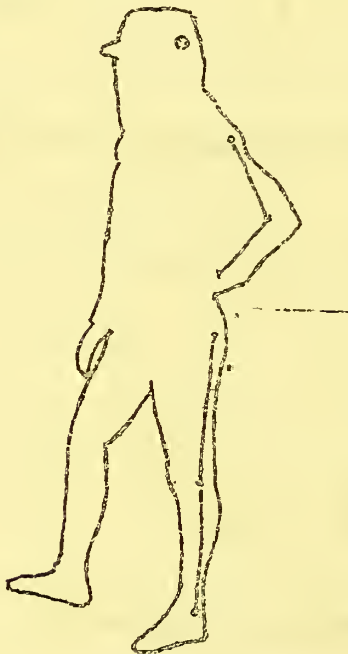
Obturateur rotatif.

phénomène se reproduira de même pour une nouvelle position M'' du mobile, et ainsi de suite; on aura donc pour la série des positions du mobile en M , M' , M'' ,une série d'images correspondantes I I' , I'' ,qui donneront la forme et la position du mobile en

projection verticale. Les points précis où ces positions auront été occupées dans l'espace par le mobile, seront donnés lorsqu'on connaîtra la vitesse de rotation du disque C et le nombre de fenêtres F , F, F. taillées dans le disque mobile. C'est là le principe de la chronophotographie sur plaque fixe.

Ce procédé est suffisant dans bien des cas, particulièrement lorsque le mobile est de faible dimension et que le nombre d'images n'est pas trop grand dans l'unité de temps, mais si l'image du mobile projetée sur le plan de la plaque photographique occupe une certaine étendue, ou bien si le nombre des images dans l'unité de temps est considérable, et la vitesse du mobile faible, les images peuvent se superposer en partie, d'où résulte une confusion peu propre à l'étude du phénomène. Dans ce cas, le Professeur Marey emploie deux correctifs.

FIG. 64.-



Photographie ~~[illegible]~~ des membres d'après Marey.

Supposons qu'il s'agisse d'employer la méthode chronophotographique dans l'étude de la marche de l'homme qui se déplace devant l'objectif, il y aura confusion des images, car le déplacement du mobile pendant un dixième de seconde est insuffisant pour que les images n'empiètent pas l'une

sur l'autre. Marey y a remédié en se servant de dispositifs très ingénieux représentés ci-dessus (Fig. 64). Comme on le voit, ils consistent à recouvrir l'homme en expérience, d'un costume de velours noir sur lequel l'axe des membres est dessiné par des cordons blancs, les articulations portent des boutons blancs placés au niveau du centre du mouvement. La tête est couverte d'une cagoule de velours noir portant une boule brillante au niveau de l'oreille. Si l'on photographie un marcheur dans ces conditions, on obtient toute la netteté d'un schéma, avec en plus, l'exactitude d'un cliché photographique. (La fig. ci-dessus peut représenter un négatif du marcheur).

Un second correctif apporté par Marey au chevauchement des images, c'est l'emploi de la photographie sur plaque mobile, que M. Janssen avait déjà utilisée dans son revolver astronomique. Sans entrer dans les détails, qu'il vous suffise de savoir qu'en même temps que le mobile, la plaque photographique se déplace derrière l'objectif, d'un mouvement saccadé, restant au repos pendant la pose, avançant pendant que l'obturateur est fermé.

On comprend que, dans ces conditions, quels que soient le nombre d'images et la surface de ces images, on peut arriver à les obtenir absolument séparées; c'est sur ce principe qu'ont été construits depuis tous les appareils dits cinématographes ou appareils similaires.

Synthèse des mouvements.- Lorsque l'on a ainsi analysé les chronophotographie des mouvements d'un mobile quelconque, on peut au moyen d'instruments appropriés, en réaliser pour l'oeil une

synthèse donnant l'illusion du mouvement lui-même.

C'est Plateau qui a posé les principes de cette méthode appelée stroboscopie, et il avait construit un appareil appelé phénakisticope. Sur ce principe ont été construits d'autres appareils tels que le zootrope, le praxinoscope de Raynaud, le photophone de Démeny, le phénakisticope à projections de Gariel, etc.

Les kinétoscopes et les cinématographes à projections sont les derniers instruments basés sur ce principe.

D'après Marey, un appareil analyseur d'un mouvement rapide, un cinématographe en un mot, doit être construit mécaniquement de telle sortè que les temps de pose soient aussi courts que possible; un millième de seconde est la durée habituelle du temps de pose pour les phénomènes ordinaires. Pendant ce temps, la pellicule sensible devra être complètement arrêtée dans son mouvement.

Dans le projecteur chrono-photographique au contraire, l'éclairage de l'image doit être aussi long que possible, et la pellicule transparente doit être arrêtée pendant tout le temps où elle ira se peindre sur l'écran; de plus, son mouvement doit être très-rapide pour qu'une image succède rapidement à l'autre et que l'illusion optique soit très nette; ce sont ces conditions qu'essaient de remplir la plupart des instruments aujourd'hui dans le commerce. Voici un instrument très-simplifié qui remplit en partie ces conditions. Il reproduit une série de mouvements du corps de l'homme. (projection cinématographique)

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

11e Leçon

ETUDE DE LA MARCHE NORMALE
CHEZ L'HOMME SAIN

Graphiques de la marche.- Etude cinématique.- Pas.- Durée du pas.- Mouvements du tronc et des membres inférieurs.- Mouvements des membres supérieurs.- Traces dans la marche normale.- Etude dynamique de la marche.- Pression du pied sur le sol.- Travail dépensé dans la marche.- Travail dans l'oscillation des jambes.- Travail dans les oscillations du corps.- Variations de la force vive.-

La locomotion de l'homme, c'est-à-dire son mouvement de translation sur le sol, peut se faire à diverses allures qui ne diffèrent pas seulement par la vitesse du mouvement de translation, mais encore par un grand nombre de leurs données mécaniques.

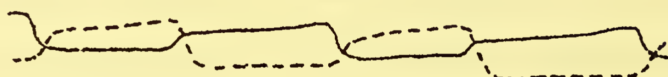
L'allure que l'homme emploie de préférence, est la Marche

C'est à Marey et à son école que l'on doit les études les plus importantes et les plus récentes sur la locomotion de l'homme et des animaux; ce sont surtout les travaux de ce savant et de son école qui seront exposés dans ce qui va suivre.

La marche peut être définie l'allure de l'homme, caractérisée par ce fait que, pendant la marche, le corps ne quitte jamais

le sol et repose toujours sur l'un des pieds; les tracés (Fig. 65) obtenus au moyen des chaussures exploratrices démontrent nettement ce fait: D et G sont les courbes fournies par le pied droit et par le pied gauche; les appareils inscripteurs sont ainsi disposés, que la courbe s'élève au moment de l'appui du pied correspondant, qu'elle s'abaisse au contraire pendant son lever. On voit sur le graphique, qu'au moment où le pied gauche commence à s'élever, le pied

Fig. 65.-



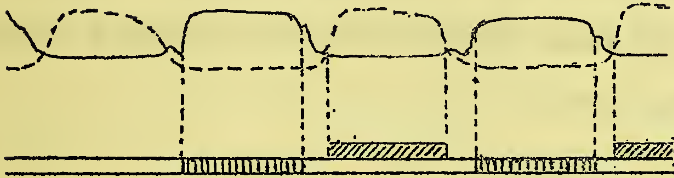
Tracé obtenu par la chaussure exploratrice (Marey)

droit est déjà en contact avec le sol, si bien que, suivant la définition et aussi accélérée que soit la marche, l'un des pieds est toujours en contact avec le sol. Le graphique montre aussi que pendant un instant plus ou moins court, le corps repose sur les deux pieds: c'est la période de double appui.

On peut traduire les indications de la chaussure dynamographique en un graphique qui permet de représenter chaque allure avec ses divers caractères; la figure 66.- indique comment s'effectue cette traduction. Ci-joint une représentation de la marche et de la course de l'homme; Fig. 67) on y voit pour la marche la

période de double appui et aussi le contact permanent du corps avec le sol. Dans la course au contraire, ce contact permanent n'existe pas et il n'y a pas non plus de période de double appui.

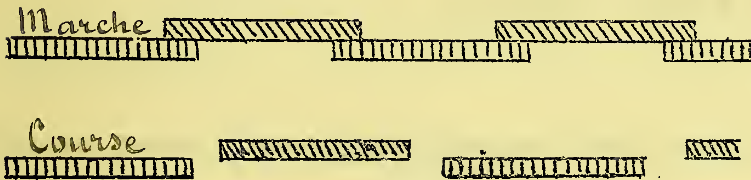
Fig. 66.-



Traduction conventionnelle du tracé obtenu par la chaussure pendant la course (d'après Marey)

__Etude cinématique de la Marche__.-L'étude cinématique de la marche comprend l'étude de tous les mouvements, aussi bien des membres inférieurs que du tronc et des membres supérieurs, qui ont lieu pendant cette allure; occupons-nous tout d'abord des mouvements du membre inférieur.

Fig. 67.-



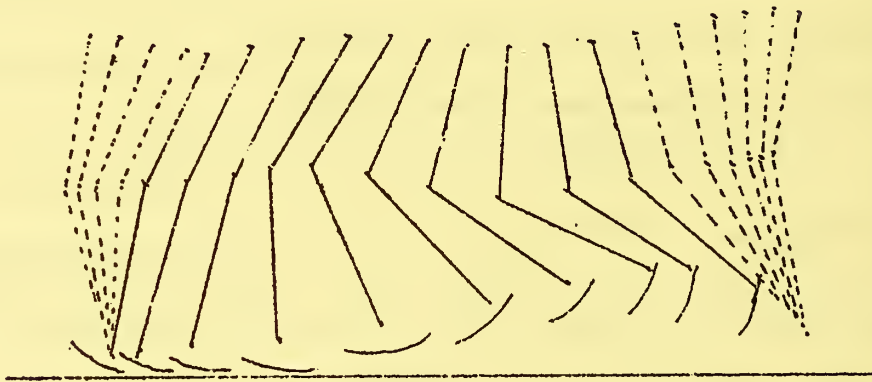
Notation synoptique de la marche et de la course de l'homme (d'après Marey)

On norme pas, la période pendant laquelle l'un des membres partant de la position de l'appui y revient après avoir effectué une oscillation autour de son articulation coxofémorale. Lorsque le pas est régulier, ses périodes se reproduisent toujours semblables à elles-mêmes. Le tracé chronophotographique ci-dessous

(Fig. 68), obtenu par Marey, sur un sujet vêtu de velours noir et dont l'axe des membres du corps était représenté par des lignes blanches, donne exactement la décomposition du mouvement dans le pas.

Les principales phases en lesquelles on peut décomposer ce mouvement sont les suivantes (Fig 69) (d'après Richer): Deux périodes présentant des inégalités dans leur durée, une période courte,

Fig. 68.-



Oscillations du membre inférieur d'un homme qui marche (d'après Marey)

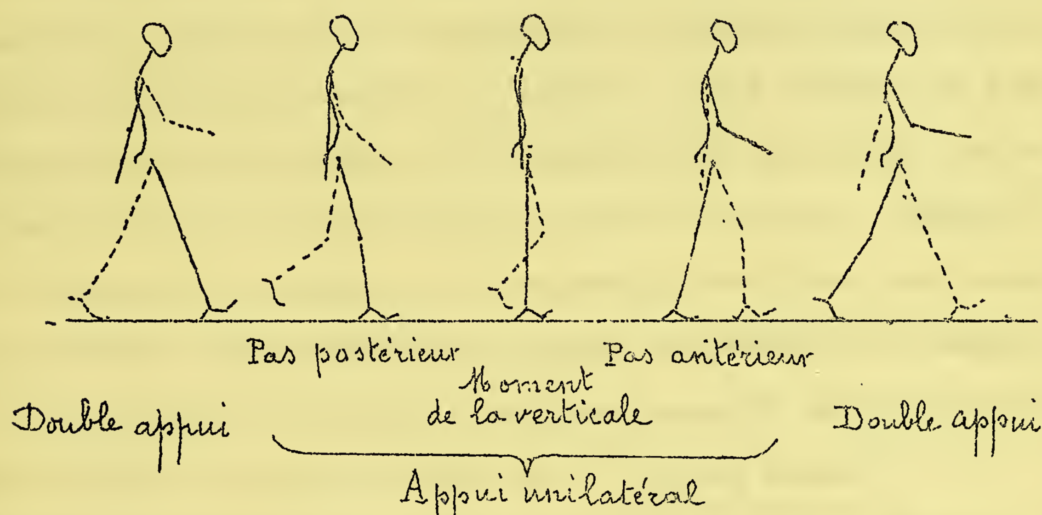
celle du double appui, une période longue, celle de l'appui unilatéral. L'appui unilatéral peut se décomposer lui-même en trois phases: Pas postérieur, moment de la verticale, pas antérieur.

Pendant l'appui unilatéral, le membre qui porte le corps est appelé <u>membre soutien</u> ou <u>jambe portante</u>, tandis que l'autre est appelé <u>membre oscillant</u> ou <u>jambe oscillante</u>.

Dans la Fig. 67 de Marey, tous les mouvements du membre

portant sont représentés en lignes fines; tous ceux qui ont lieu pendant l'appui de l'autre membre sont représentés par une ligne pleine. On y voit que le membre part de la verticale, le pied étant appuyé sur le sol par toute sa surface plantaire; l'articulation du genou est dans l'extension; puis, l'articulation coxofémorale étant portée en avant, sans que le pied ait quitté le sol, le membre tourne autour de l'articulation tibio-tarsienne, devient de plus en plus oblique (30° environ), l'articulation du genou fléchit, et le pied se déroule

Fig. 69.-



Phases du Pas
(d'après Richer.)

sur le sol comme un secteur de la jante d'une roue de voiture en marche; puis, le pied quitte le sol par l'extrémité de son gros orteil et le membre devient oscillant à la manière d'un pendule articulé en son milieu. Le centre de la rotation n'est plus, comme pendant

l'appui, l'articulation tibio-tarsienne, mais bien l'articulation coxofémorale. Peu à peu, le membre devient vertical, puis la verticale est dépassée et le membre s'étend de plus en plus, jusqu'à un angle de 27° à peu près; à ce moment le pied prend contact avec le sol par le talon. Tels sont les mouvements d'oscillation du membre inférieur pendant le pas. Deux oscillations semblables constituent le double pas, c'est-à-dire le retour du corps à une position analogue à celle dont il est parti, après une oscillation de l'un et l'autre membre inférieur.

Suivant les frères Weber, l'oscillation du membre inférieur serait une oscillation pendulaire; si bien que, la longueur du membre ne variant pas, la durée de son oscillation ne pourrait pas varier. Duchenne (de Boulogne), se basant sur des observations pathologiques, Marey et Carlet, tenant compte des graphiques recueillis dans des conditions normales, ont démontré l'inexactitude de cette donnée. En effet, la contraction musculaire intervient pour modifier la durée du mouvement de la jambe oscillante.

Durée du pas.- La durée du pas est très variable, d'où la marche lente, composée de pas de longue durée, et la marche rapide ou accélérée, composée de pas de courte durée. Dans la marche accélérée, la période de double appui tend à devenir de plus en plus courte et même peut être réduite à zéro, c'est à dire que le talon se pose sur le sol au moment même où l'orteil se relève. Dans le sport qu'on appelle "pédestrianisme", c'est le genre de marche que l'on appelle "orteil et talon"; dans ce sport, toute accélération

du pas faisant disparaître ce contact permanent du corps avec le sol, est une cause de disqualification.

Mouvements du tronc et des Membres supérieurs.- Le tronc effectue pendant la marche, des mouvements suivant les trois plans de l'espace; ces mouvements ont été étudiés par un élève de Marey, M. Carlet et par M. Marey lui-même, au moyen de la méthode graphique.

A défaut du centre de gravité du corps qu'on ne peut atteindre et qui varie avec les attitudes, M. Carlet a choisi le pubis et M. Marey le vertex, comme points révélateurs des mouvements de totalité du tronc.

Dans le sens vertical, le pubis s'élève pendant le milieu de l'appui de chacun des pieds, et s'abaisse à l'instant où le poids du corps passe d'un pied sur l'autre. L'amplitude de ses oscillations est d'environ 14 millimètres, mais varie avec la grandeur des pas.

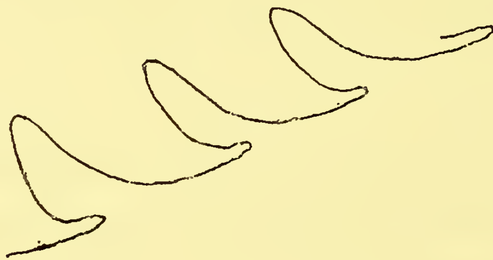
Dans le sens horizontal, le pubis se porte alternativement de gauche à droite et de droite à gauche, prenant ainsi un mouvement en lacet semblable à la démarche d'une oie grasse.. Mais ces oscillations sont deux fois moins nombreuses que les oscillations verticales. Le corps se trouve porté vers la gauche au milieu de l'appui du pied gauche, et vers la droite, au milieu de l'appui du pied droit.

Les deux mouvements dans le plan horizontal et dans le plan vertical, se continuant avec le mouvement en avant, donnent d'un point quelconque du corps pendant la marche, une trajectoire assez compliquée.

assez compliquée. M. Carlet a essayé de la reproduire objectivement, au moyen d'un fil de fer tordu (Fig. 70, d'après Carlet) On voit, suivant la formule de cet auteur, qu'elle est inscrite dans un segment de cylindre dont la concavité serait tournée vers le haut.

Mouvements des membres supérieurs.- Outre ces mouvements, le tronc pendant la marche, éprouve un effet de torsion autour de son axe, effet de torsion qui dépend des mouvements des membres supérieurs. Ceux-ci étant animés d'un mouvement oscillatoire inverse de celui du membre inférieur correspondant, c'est-à-dire présentant sur ceux-ci une différence de phase d'une 1/2 oscillation, il résulte que l'épaule droite est portée en arrière par le mouvement oscillatoire du bras droit; tandis que la hanche droite est portée en avant par le mouvement de la jambe du même côté, d'où torsion. Cet effet ne se produit pas lorsque les bras sont collés au corps pendant la marche, et se produit peu dans la position du "pédestrian" dont les coudes sont collés au corps, les avant-bras placés horizontalement et les mains fermées.

Fig. 70.-



Représentation objective de la trajectoire d'un point du tronc pendant la marche (Carlet)

Tracés dans la marche normale.- Les traces que l'homme laisse sur le sol, de ses pieds nus, peuvent encore servir à déterminer certaines particularités du pas, surtout intéressantes pour le médecin. Pour relever les traces de pas comme on l'a fait sur ces exemples placés devant vos yeux, il suffit de prendre du papier glacé à tapisserie, et après l'avoir convenablement enfumé, d'en disposer une certaine longueur (de 4 à 6 mètres) sur le chemin que doit parcourir le marcheur. Voici des traces (Planche fig. 1) obtenues d'un marcheur ayant 1^{m} 60 de taille et marchant à une allure de 60 pas à la minute à peu près. La première constatation qui résulte de l'examen de ces traces, c'est que, si l'on mesure les divers pas, c'est-à-dire la distance de talon à talon sur une ligne droite, ces distances sont toutes semblables entre elles, à moins d'un centimètre près. Donc, chez l'homme normal, la longueur du pas est identique, il n'y a pas un pas gauche et un pas droit.

La seconde constatation permet de remarquer que les traces sont symétriquement et obliquement placées par rapport à une ligne idéale qui serait la trajectoire du marcheur. Cette obliquité est la même pour les deux pieds; de plus, les talons sont à une très petite distance, deux centimètres à peu près, de cette ligne de symétrie. Les deux pieds passent donc très près l'un de l'autre, lorsqu'ils se croisent au moment de la verticale.

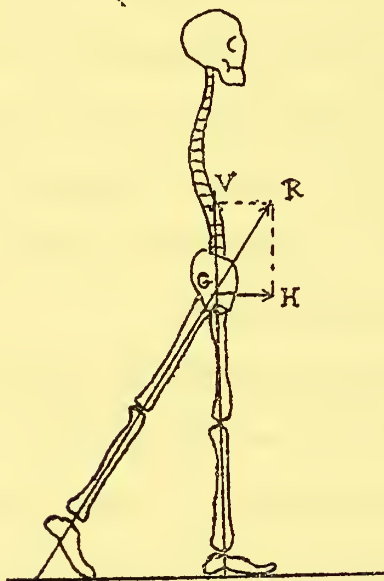
Ces traces démontrent encore que le pied, chez l'homme normal pendant la marche, est en contact avec le sol, non pas sur toute l'étendue de sa plante, mais sur une portion seulement. Au niveau

de la voûte plantaire, le pied ne touche le sol que par une étroite bande située du côté externe.

Enfin, ni le talon ni la pointe des orteils ne traînent sur le sol pendant la marche de l'homme sain et l'on ne voit aucune bavure sur le papier enfumé. Ces remarques seront utilisées plus tard, dans la comparaison de la marche de l'homme à l'état sain et à l'état pathologique.

Etude dynamique de la marche.- La dynamique de la marche comprend l'étude des forces mises en jeu, leur intensité, leur direction et leur point d'application. La force motrice réside surtout dans les muscles extenseurs de la cuisse sur le bassin, de la jambe sur la cuisse et du pied sur la jambe. Le muscle triceps sural est le muscle de la marche par excellence, c'est lui surtout qui par le mécanisme du levier du second genre pousse le corps en avant. En effet, lorsque l'homme est dans l'attitude de la Fig. 71.- c'est-à-dire au moment de la période du double appui, on peut représenter par une seule force toutes les forces motrices nées

Fig. 71.-



Composante efficace dans la marche de l'homme

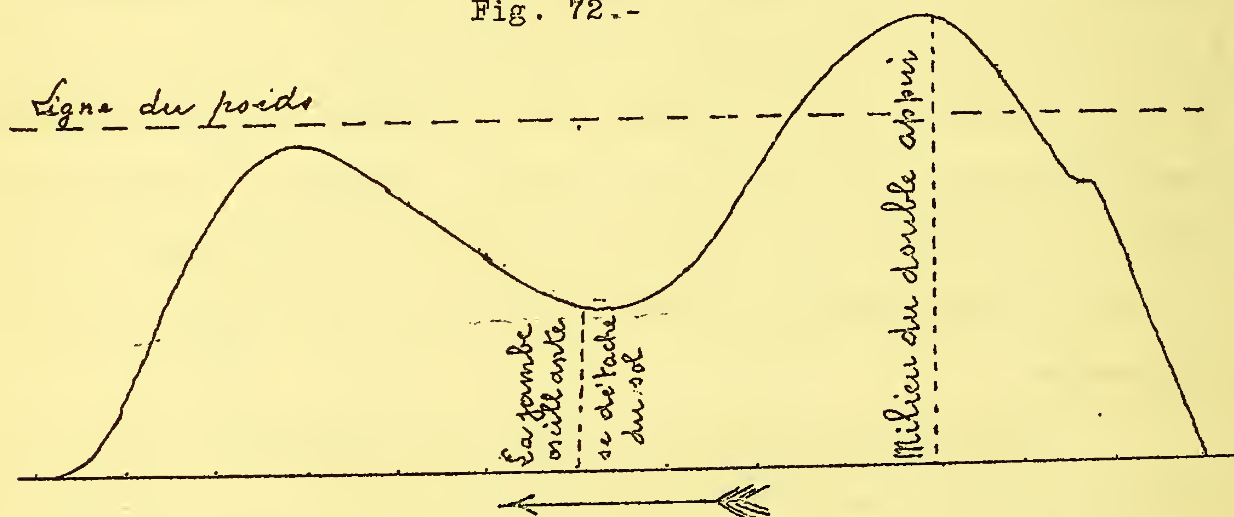
de la contraction des divers muscles extenseurs; cette force peut être transportée au niveau de l'articulation coxofémorale ou encore au centre de gravité, au point G et être représentée en grandeur et en direction par la droite G R .Or cette force G R peut être décomposée en deux autres: l'une, G V verticale et dirigéè de bas en haut; l'autre, G H ,horizontale et dirigée d'arrière en avant. La première tend à soulever le corps et est opposée à la pesanteur; elle ne produit aucun effet utile, puisque sa direction est perpendiculaire aux mouvements. Au contraire, c'est à elle que sont dues les oscillations verticales du corps qui sont la cause d'une dépense inutile de travail assez considérable. Mais la seconde G H est efficace, car elle est dirigée suivant la trajectoire du mobile, c'est à elle qu'est dû le mouvement de translation du corps sur le sol. On voit facilement sur la figure, et il serait facile de le démontrer géométriquement, que cette force efficace croît avec l'angle des deux jambes, c'est-à-dire pour un même individu avec la longueur du pas. et pour une même longueur du pas, en raison inverse de la longueur des jambes.

Pression du pied sur le sol.- La pression du pied sur le sol est variable; pendant le mouvement de l'appui et du double appui, le graphique ci-joint, dû à Marey (Fig. 72.-), provenant de l'inscription de la pression du pied pendant le pas, au moyen du dynamographe inscripteur de Marey décrit plus haut, indique nettement ces diverses pressions. On y lit distinctement que la pression est maxima vers le milieu du double appui, et à ce moment-là elle dépasse la

valeur du poids du marcheur (20 Kilog. d'excès en moyenne, d'après Carlet). La courbe, redescend ensuite bien au-dessous du poids, au moment où l'autre pied s'étant détaché du sol et l'autre jambe ayant commencé son oscillation, le corps vient d'être lancé en haut et en avant par la détente musculaire.

Travail dépensé dans la marche.- L'estimation de la quantité de travail dépensée dans la marche est des plus importantes, mais aussi des plus difficiles. Lorsqu'on veut déterminer la quantité de travail nécessaire pour entraîner sur le sol un mobile roulant ou glissant, le problème est on ne peut plus simple et ces déterminations existent pour à peu près tous les mobiles et pour les sols les

Fig. 72.-



Pression du pied sur le sol pendant le pas

plus divers, rails, macadam, chaussée empierrée etc. Ces déterminations existant même pour les diverses inclinaisons du chemin parcouru par le mobile. Les méthodes que les ingénieurs ont employées pour cela, sont simples également et je ne m'attarderai pas à vous les

énumérer; il suffit la plupart du temps, d'interposer entre le tracteur et le mobile dont le déplacement doit absorber le travail à mesurer, d'interposer dis-je, un bon dynamographe et de relever ensuite la courbe tracée par cet appareil. Il indique en kilogrammètres le travail dépensé; on fait varier à volonté la vitesse, la nature et la pente du terrain.

Mais, lorsqu'il s'agit de l'homme, aucune des méthodes utilisées en mécanique ordinaire, n'est applicable et l'on peut dire que la détermination du travail dans ces conditions, est un des problèmes les plus ardus de la mécanique biologique.

C'est encore à Marey et à ses élèves, que l'on doit toutes les déterminations faites sur ce chapitre; peut-être ne sont-elles pas définitives, mais, telles que nous les possédons, elles nous permettent d'évaluer dans des limites assez restreintes, les variations de la puissance de l'homme comme locomoteur.

Marey a divisé le travail total fourni par l'homme dans la marche ou la course, en trois parties distinctes:

1° Travail nécessité par les oscillations de la jambe et sa projection en avant;

2° Oscillations verticales et latérales du corps;

3° Variation de la vitesse du mobile dans le sens de la trajectoire.

Le membre inférieur, avons-nous vu, n'oscille pas seulement à la manière d'un pendule, sous l'influence de la pesanteur, comme l'avait pensé Weber, mais bien par le fait des contractions vol

volontaires alternatives des extenseurs et des fléchisseurs. Ce travail, bien qu'important à noter est toujours faible et on peut l'évaluer à à peu près 0, 3 kilogrammètres pendant un pas.

Les oscillations verticales du centre de gravité entraînent aussi une dépense de travail égale au poids soulevé multiplié par la hauteur du soulèvement. Mais, nous travaillons dans la marche, non seulement pour élever, d'ailleurs inutilement, notre centre de gravité, mais encore pour empêcher notre corps de retomber brusquement sous l'action de la pesanteur. D'où un premier travail positif pour le soulèvement du corps et un second travail négatif pour le soutien du corps à sa descente. Ces deux travaux effectués par des muscles différents s'ajoutent, non au point de vue algébrique, mais au point de vue physiologique, et le travail peut être évalué, d'après Marey, sur un sujet de 75 Kilog. à 6, 2 kilogrammètres par pas.

Enfin, une troisième cause de dépense du travail provient de la variation de vitesse que prend le mobile lorsqu'il parcourt sa trajectoire. Si la vitesse augmente et passe par exemple de V à V' ,il y a évidemment dépense de travail moteur égale d'après le principe de mécanique, à la 1/2 variation de la force vive représentée par l'expression:

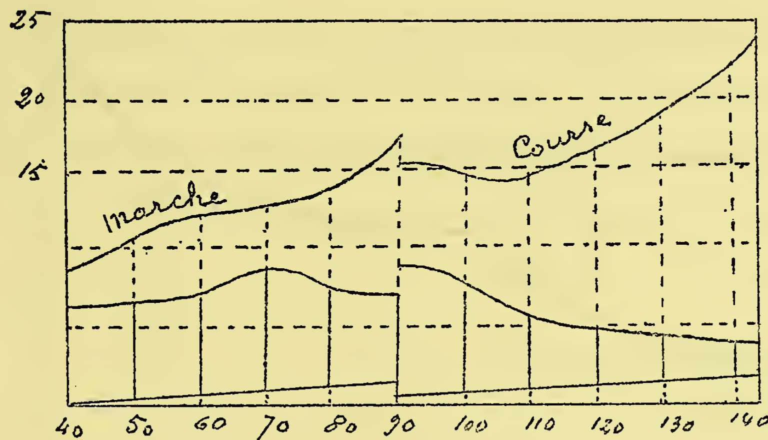
$$1/2 \left(M V'^2 - M V^2 \right)$$

De même, lorsqu'il y a diminution de vitesse, nos muscles, d'après Marey, entrent également en action et effectuent un travail résistant égal en quantité au premier. Ce double travail dû à la variation de la force vive du corps en marche, a été évalué par Marey

à 2, 5 kilogrammètres.

On a objecté (Imbert) que si le travail résistant des muscles diminuait la force vive du corps, il n'était pas le seul à faire entrer en ligne de compte. Il fallait aussi y introduire le frottement du pied sur le sol et la résistance de l'air. M. Marey avait d'ailleurs fait des réserves dans le même sens, réserves qui nous paraissent surtout utiles lorsque l'allure de l'homme est rapide, par exemple dans la course.

Fig. 73.-

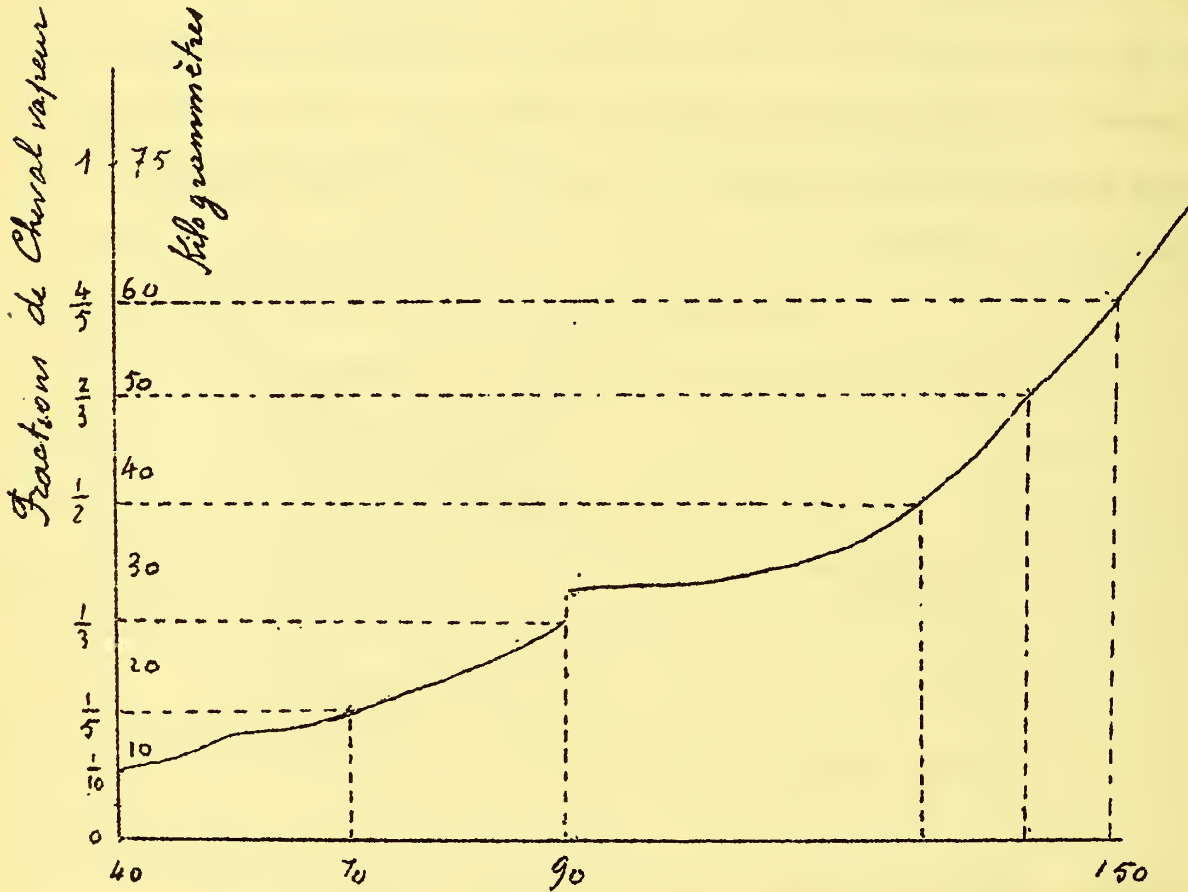


Eléments du travail dans la marche et dans la course (Marey)

D'après les mesures de M. Marey, la valeur totale du travail dépensé dans un pas pendant la marche, serait donc de 9 Kilogrammètres. Du reste, ce travail varie beaucoup avec la rapidité de l'allure et nous donnons ici un graphique qui indique ces variations (Fig. 73.)d'après Marey). La courbe supérieure donne le total du travail dans la marche et dans la course à des cadences diverses

de 40 à 145 pas à la minute; l'échelle placée à gauche, exprime le nombre de kilogrammètres dépensés à chaque pas. Enfin, chacune des ordonnées est formée de trois tronçons superposés représentant la

Fig. 74.-



Puissance développée par l'homme aux diverses allures.
(Courbe calculée d'après les chiffres de Marey)

valeur de chacun des éléments du travail total: Le tronçon inférieur correspond au travail dépensé dans l'oscillation de la jambe;

le moyen, formé d'un trait épais, exprime le travail dépensé dans l'oscillation verticale du corps; le supérieur correspond aux accélérations et au ralentissement de la masse du corps.

On voit par le graphique (Fig. 73) combien est différent le travail dépensé dans la marche lente et celui dépensé dans la course la plus rapide, mais, si on cherche la puissance développée, c'est-à-dire le travail développé par l'homme dans l'unité de temps, à ces différentes allures, on trouve des différences encore plus considérables et la courbe que vous voyez là est frappante à cet égard. (Fig. 74)

Dans la marche lente à 40 pas par minute, la puissance fournie par le marcheur est de un dixième de cheval ou 7, 5 kilogrammètres; dans la marche rapide à 100 pas, elle est de 1/3 de cheval soit 25 Kg. ; Enfin, dans la course la plus rapide cette puissance monte au chiffre énorme de quatre cinquièmes de cheval soit 60 kilogrammètres par seconde.

Au point de vue médical, un enseignement peut être tiré de ces considérations et l'on peut se rendre compte qu'ordonner la marche à un malade, afin de provoquer chez lui une dépense de travail et une dépense organique simultanée, est une ordonnance bien vague; il faudrait non-seulement prescrire la durée de la marche, mais encore son allure, c'est-à-dire la rapidité du pas et se rendre compte de la puissance développée. C'est ce que l'on fait à peu près dans la cure dite de terrain si en honneur de l'autre côté du Rhin et à peu près inconnue en France.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-

12e Leçon

AUTRES ALLURES DE L'HOMME-
MARCHES PATHOLOGIQUES

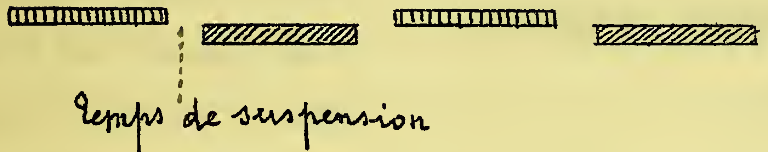
CC Course.- Saut.- Marche ascendante. La cure de terrain.- Dynamo-thérapie.- Marche descendante.- Troubles mécaniques de la marche.- Eléments qui peuvent varier.- Etude des troubles par les empreintes ou traces.- Empreintes dans divers cas pathologiques.- Action de stepper.- Empreintes dans la marche du pied bot talus paralytique.- Marche hélicopode.- Marche helcopode.- Empreintes dans l'ataxie.-

Course.- L'allure de la course chez l'homme est caractérisée par une phase particulière du mouvement, pendant laquelle le corps flotte librement sans aucun contact avec le sol. Donc, au point de vue cinématique, la course non seulement ne comprend pas le temps de double appui qui caractérise la marche, mais comprend en plus un temps dit temps de suspension.

La notation de cette allure chez l'homme peut se faire de la façon suivante, qui n'est que la traduction de l'expression donnée par la chaussure dynamographique de Marey (Fig.75). La durée du temps de suspension varie d'ailleurs avec la rapidité du mouvement.

Mais, ce temps de suspension ne tient pas, comme on pourrait le croire, à ce que le corps est projeté par une brusque détente de la jambe, comme dans le saut. Il résulte des études de Marey, que le temps de suspension est dû à la flexion de la jambe sur la cuisse et que c'est pour ainsi dire le pied qui est retire du sol et non le corps projeté en haut, ce qui le prouve, c'est l'inscription de l'oscillation verticale du corps dans la course, cette inscription indique un minimum de hauteur précisément pendant le temps de suspension.

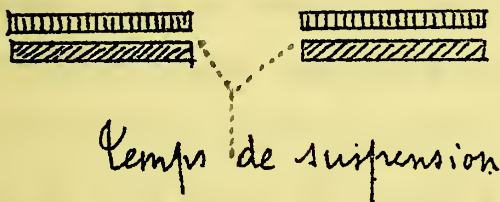
Fig. 75.-



Notation synoptique de la course

Saut.- Dans le saut, les deux pieds étant joints, la détente musculaire projette le corps en haut et en avant; le temps de suspension existe, et le temps d'appui pour les deux pieds s'effectue au même instant; la notation du saut est la suivante (Fig. 76): Ici, les oscillations verticales du tronc ont une grande amplitude, et le maximum de hauteur coincide avec le milieu du temps de suspension.

Fig. 76.-



Notation synoptique du saut à pieds joints

Marche ascendante et Marche descendante.- La marche, pendant la montée d'un escalier, présente à considérer, certaines particularités importantes. Tout d'abord, la notation de cette marche indique une durée du double appui beaucoup plus longue que la marche en terrain horizontal. Voici cette notation: (Fig. 77).

Fig. 77.-

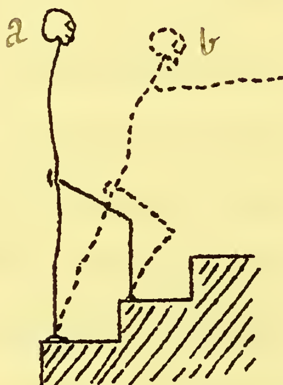


Période du double appui

Notation de la marche pendant la montée d'un escalier.

Soit (Fig 78), le schema de Giraud-Teulon et soit en a la première silhouette de l'homme montant un escalier; l'une des jambes est à l'appui, et tout le poids du corps repose sur elle; l'autre jambe ne porte pour ainsi dire que son poids propre. Dans cette position, si nous essayons d'élever le corps par une contraction du triceps sural, le mécanisme du soulèvement du corps sur la pointe des pieds qui a été décrit (voir p. 68), intervient; une composante horizontale se développe qui tend à faire tomber le corps en arrière, et rend l'élévation

Fig. 78.-



Marche pendant la montée d'un escalier (d'après Giraud Teulon)

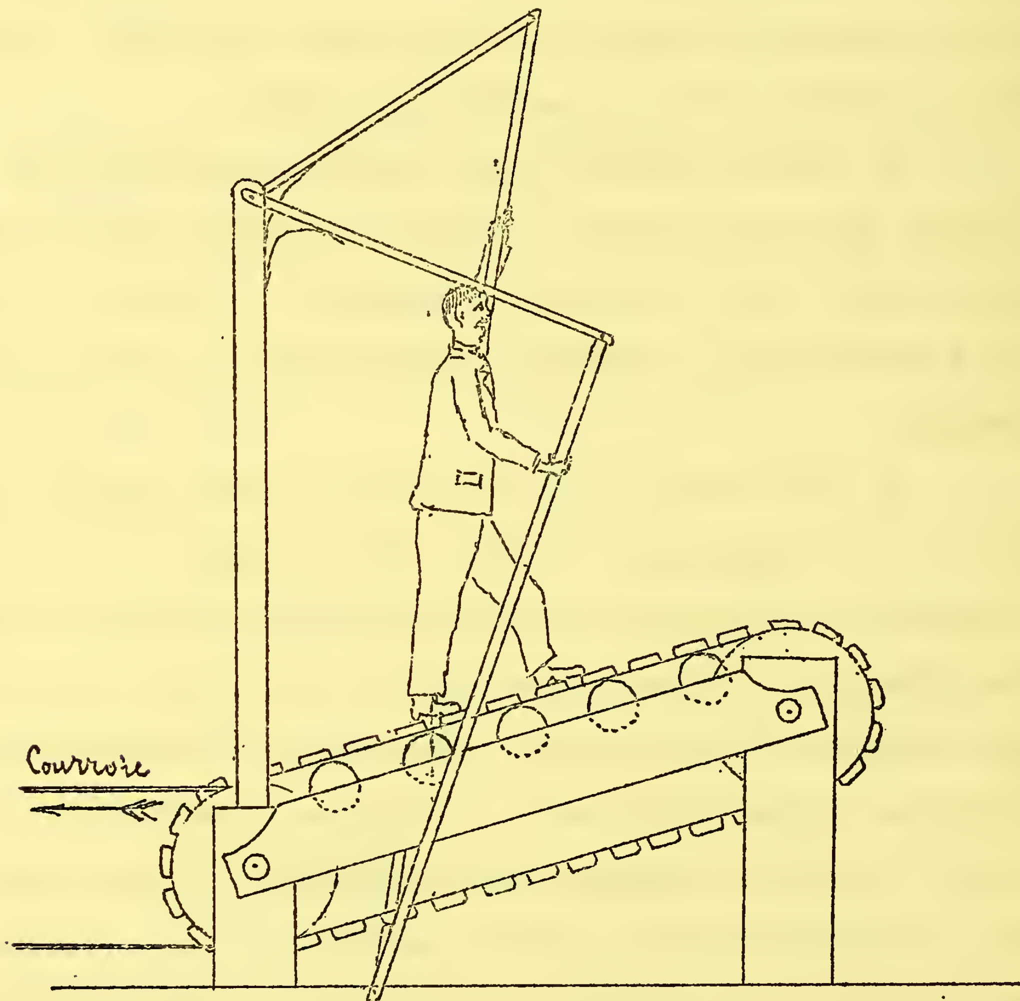
impossible. Mais, si la position changeant, le corps prend celle de la silhouette b, le centre de gravité est porté fortement en avant et la contraction du triceps élevant le corps sur la pointe du pied peut se produire sans risque de chute. Le corps se soulève sur la pointe du pied, la jambe portante abandonne le sol lorsque le centre de gravité a été reporté assez en avant pour que la ligne de gravité tombe dans l'intérieur du pied à l'appui. A ce moment, l'extension de la cuisse se produit et une marche est montée. Le même mécanisme se reproduit pour les marches suivantes.

Le travail dépensé dans la marche ascendante est beaucoup plus grand que dans la marche normale, il dépend, bien entendu, du poids du corps et de la hauteur à laquelle il s'élève. Il est plus facile à mesurer que le travail produit dans la marche en pallier ou horizontale.

On s'est servi de la facilité de cette mesure, dans laquelle il n'est besoin de connaître que le poids du corps et la hauteur verticale à laquelle il s'est élevé pour évaluer au moins approximativement le travail effectué, on s'est servi dis-je, de la marche ascendante dans certaines applications thérapeutiques dites applications dynamo-thérapiques ou cure de terrain. Dans ce procédé, on choisit en pleine campagne des chemins dont l'inclinaison est connue, et l'on prescrit la marche ascendante sur ces chemins, en faisant varier et la distance parcourue et l'inclinaison du chemin. On arrive ainsi à obtenir du malade en traitement, un travail mécanique progressivement croissant d'une quantité parfaitement connue.

Mais, au lieu d'un chemin en pleine campagne, on peut se servir d'un chemin artificiel dont l'appareil ci-dessus représente la construction; c'est pour ainsi dire un chemin sans fin et mobile lui-même autour de deux cylindres tournant dans le sens des flèches. Le malade est placé sur ce chemin et tend à être entraîné en bas par la rotation des cylindres; il est donc obligé, pour se maintenir

Fig. 79



Appareil dynamo thérapique

au même niveau, de marcher en s'élevant sur la courroie sans fin, et l'on comprend que l'on puisse évaluer ainsi très exactement la vites-

se, la hauteur verticale à laquelle il s'est élevé, et par conséquent le travail dépensé. Des bâtons indiqués sur la Fig. 79, peuvent lui servir d'appui, mais il n'a pas à lever ces bâtons à chaque pas; ils se relèvent d'eux-mêmes au moyen de ressorts convenablement placés. Cet appareil est surtout employé dans certaines maladies organiques du coeur dans lesquelles le travail à produire par le malade doit être exactement gradué si l'on veut éviter des accidents.

Dans la marche en descente, nos muscles ont à lutter contre l'action de la pesanteur et à soutenir le corps lorsque dans la descente d'un escalier il passe d'une marche sur l'autre. Dans la Fig.80 ,la silhouette A pour éviter la chute brusque du corps sur le pied en suspension fléchit graduellement la jambe au niveau de l'articulation du genou et c'est surtout le triceps fémoral qui entre en jeu pour résister à l'action de la pesanteur; puis le pied vient toucher la marche inférieure par sa pointe (Silhouette B), la jambe étant dans l'extension et portant alors tout le poids du corps, c'est le triceps sural qui lutte contre l'action de la pesanteur jusqu'à ce que le talon ait pris contact avec la marche. Ce sont surtout ces deux groupes musculaires qui travaillent dans la marche en descente.

Fig. 80.-



Marche pendant la descente d'un escalier (d'après Giraud Teulon)

E T U D E   D E S   T R O U B L E S   D E   L A   M A R C H E
A U   P O I N T   D E   V U E   M E C A N I Q U E.-

La marche, comme nous l'avons vu, est un acte très complexe, qui nécessite le fonctionnement régulier de plusieurs centres corticaux et de centres médullaires de coordination. De plus, l'intégrité des leviers osseux des articulations des muscles moteurs de ces leviers doit être absolue; enfin, tous les conducteurs nerveux de centre à centre et des centres à la périphérie, doivent ne présenter aucune lésion. Il faut ajouter de plus à toutes ces conditions l'intégrité des organes qui n'interviennent que secondairement dans la marche, tels que artères, veines, ligaments, synoviale, bourse séreuse, etc, des membres inférieurs.

Tous ces organes que nous venons d'énumérer doivent non seulement présenter une intégrité absolue au point de vue organique, mais aussi au point de vue dynamique, ils doivent être dans des conditions normales. On comprend qu'après toutes ces conditions énumérées, les troubles de la marche puissent être nombreux, variés et complexes. Ils varieront en effet, suivant l'organe lésé, la gravité de la lésion et aussi avec telle ou telle combinaison de lésions sur le même sujet. Ainsi, la marche dans l'hémiplégie hystérique ne sera pas la même que dans l'hémiplégie organique et même dans l'hémiplégie organique, les troubles différeront suivant que l'on aura affaire à l'hémiplégie flasque ou à l'hémiplégie avec

contracture.

Nous n'avons pas à examiner dans ce cours les causes pathologiques si complexes de tous ces troubles de la marche chez l'homme, nous essaierons seulement de les classer au point de vue mécanique et de vous indiquer les moyens simples qui peuvent être utilisés en clinique pour les rechercher.

La marche peut être troublée par les causes pathologiques citées plus haut, soit dans ses éléments cinématiques, soit dans ses éléments dynamiques, et dans chacune de ces catégories les troubles observés peuvent être bi-latéraux ou unilatéraux.

Or, si nous nous rappelons l'étude de la marche normale faite dans la dernière leçon, nous trouvons que les principaux éléments cinématiques de la marche sont les suivants:

1°.- La trajectoire générale du déplacement;

2°.- La durée du double appui et de l'appui unilatéral;

3°.- La trajectoire et la vitesse de l'oscillation du membre inférieur;

4°.- Enfin, les oscillations verticales et latérales du tronc.

Les éléments dynamiques de la marche que nous avons passés en revue sont:

1°.- La force motrice musculaire;

2°.- La pression des pieds sur le sol.

Rarement l'étude d'une marche pathologique ou anormale a

été faite en passant en revue les différents éléments dynamiques cités plus haut, et en en recherchant les modifications.

On peut citer cependant comme exemple à ce point de vue, l'étude de Quenu et Démeny faite sur la marche dans l'ataxie tabétique, par les procédés chrono-photographiques.

Ces auteurs ont déterminé dans l'ataxie locomotrice de Duchenne, les trajectoires des genoux, des articulations tibio-tarsiennes, de l'épaule et de la tête. Ils ont déterminé les mouvements des segments du membre inférieur ainsi que la durée de l'appui et du lever des pieds.

Ils ont trouvé que c'est surtout ce dernier élément cinématique, le lever du pied, qui diffère complètement dans l'ataxie, de ce qu'il est dans l'état normal. C'est au moment du lever que les troubles causés par l'action désordonnée des muscles se manifestent surtout.

Les mêmes auteurs ont également déterminé la variation des éléments dynamiques de la marche qui pourraient servir à caractériser ce même état pathologique. Au moyen du dynamographe de Marey, dont nous avons vu plus haut la description et le fonctionnement, ils ont déterminé la pression du pied sur le sol pendant la marche de l'ataxique. Ils ont trouvé que chaque mouvement du pied sur le sol, au poser, provoque une brusque élévation de la pression dynamographique, mais cette pression ne dépasse jamais beaucoup le niveau de la ligne du poids.

Il serait à désirer que ce qu'ont fait MM. Quenu et

Démeny fut également entrepris pour les troubles si nombreux de la marche ou au moins pour les principaux.

En clinique, l'examen des troubles cinématiques de la marche se fait simplement par la vue, et la description de ces troubles est donnée dans les ouvrages de pathologie à propos des symptômes de chaque maladie, et bien que ces description soient parfois assez vagues et qu'il soit assez difficile par elles de se rendre compte du trouble décrit, les cliniciens s'en contentent, car il est fort difficile en clinique, de recourir à des moyens meilleurs, tout en restant aussi simples.

Ceppndant, il est un procédé d'étude graphique de la marche que l'on pourrait il me semble, employer plus souvent en clinique, et qui est de nature à donner une série de renseignements importants. M. Gilles de la Tourette a montré combien ce procédé pouvait devenir fertile en données nouvelles, dans sa thèse sur les études cliniques et pathologiques de la marche (Paris 1886). Je veux parler du procédé des empreintes ou des traces. Pour prendre des traces de pas, nous nous sommes servis ici d'une longue bande de papier enfumé, et voici quelques-uns des tracés que nous avons pu obtenir, vous pouvez voir combien ils sont instructifs.

Le premier (Fig. 1) est le tracé de la marche normale dont je vous ai déjà parlé dans une précédente leçon; la symétrie absolue est la règle dans cette marche.

Le tracé (Fig. 2) est celui pris sur un malade présentant de la paralysie des extenseurs du pied sur la jambe d'un seul côté,

ce graphique montre l'action très nette du Stepper.

Le troisième graphique provient d'un malade ayant au contraire de la paralysie du triceps sural et présentant la déformation du pied connue sous le nom de pied-bot paralytique talus. On [redacted] remarque que le talon frotte sur le sol avant de s'y poser, contrairement à ce qui avait lieu sur le graphique précédent, où la pointe du pied frottait sur le sol avant de se lever.

Le quatrième graphique montre le tracé de la marche hélicopode de Charcot (marche en tournant); c'est le tracé de la marche en fauchant des hémiplégiques d'origine organique. Ce trouble est encore unilatéral, et l'on voit que le pied porté par la jambe malade a tracé un arc de cercle autour de la jambe saine comme axe.

Le cinquième graphique qui semble un peu confus, est celui de la marche helcopode de Charcot (marche traînante); il représente le tracé de la marche dans l'hémiplégie hystérique. Le membre sain a laissé un grand nombre d'empreintes placées presque bout à bout les unes des autres, le membre malade au contraire, portant sur le sol par la face dorsale des orteils, a laissé une [redacted] ligné[redacted] [redacted] continue[redacted], traîné qu'il était par le malade que l'on soutenait légèrement pendant ses efforts pour marcher. Le tracé du pied paralysé n'est autre que celui d'un objet sans vie traîné sur le sol.

Ces quelques exemples peuvent vous montrer combien sont

précieux les renseignements donnés par cette méthode d'étude [redacted] des troubles de la marche.

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-



Fig. 1.

Traces dans la marche normale.



Fig. 2.

Traces dans la paralysie des extenseurs du pied. En A les orteils traînent sur le sol au lever.



Fig. 3.

Traces dans la paralysie du triceps sural (pied bot talus paralytique). En A le talon frotte sur le sol au poser.



Fig. 4.

Traces dans l'hémiplégie organique. Marche hélicopode de Charcot.



Fig. 5.

Traces dans l'hémiplégie hystérique. Marche helcopode de Charcot.



Fig. 6.

Traces de la marche chez un ataxique.

TABLE DES MATIERES

Pages

Quatrième Leçon

Pages

M E C A N I Q U E D E S A R T I C U L A T I O N S

Cinquième Leçon

M E C A N I Q U E D E S M O U V E M E N T S

P A R T I E L S

Sixième Leçon

D E S C O O R D O N N E E S S T A T I Q U E S

D U C O R P S D E L ' H O M M E

Septième Leçon

MESURE DU VOLUME, DE LA DENSITE MOYENNE et de la SURFACE DU CORPS

Huitième Leçon

ATTITUDES NORMALES DE L'HOMME

Neuvième Leçon

ATTITUDES ANORMALES DE L'HOMME

-:-:-:-:-:-:-:-:-:-:-



